



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
LICENCIATURA EN QUÍMICA DE ALIMENTOS

**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL CONCENTRADO DE  
PROTEÍNA DE GARBANZO (*Cicer arietinum*) COMO  
AGENTE EMULSIONANTE DE UN ADEREZO A  
BASE DE ACEITE DE AGUACATE**

Para obtener el título de

**Licenciada en Química de Alimentos**

**PRESENTA**

Lilian Shirel Ramos Mejia

**Director (a)**

Dra. Ilse Monroy Rodríguez

**Codirectora**

Dra. Judith Jaimez Ordaz

Pachuca de Soto, Hidalgo; mayo 2026

---



# Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 28 de abril de 2026

Número de control: ICBI-D/845/2026

Asunto: Autorización de impresión.

## MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado a la egresada de la Licenciatura en Química en Alimentos **Lilian Shirel Ramos Mejía**, quien presenta el trabajo de titulación **"Evaluación del concentrado de proteína de garbanzo (*Cicer arietinum*) como agente emulsionante de un aderezo a base de aceite de aguacate"**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

**Presidente:** Dra. Elizabeth Contreras López

**Secretario:** Dr. Emmanuel Pérez Escalante

**Vocal:** Dra. Ilse Monroy Rodríguez

**Suplente:** Dra. Judith Jaimez Ordaz

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez  
Director del ICBI

GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



WORLD  
UNIVERSITY  
RANKINGS  
2026



THE  
Times  
Higher  
Education



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo  
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,  
México. C.P 42184

Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001

direccion\_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx



## **Agradecimientos**

Durante el desarrollo de esta tesis tuve la oportunidad de contar con el apoyo, la guía y el acompañamiento de diversas personas que, de diferentes maneras, hicieron posible la realización y conclusión de este trabajo académico.

Se agradece al Laboratorio de Bioingeniería y Estructuras Alimentarias de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional por las facilidades brindadas para la realización de diversos experimentos desarrollados en esta tesis, así como por el acceso a sus instalaciones y equipos, los cuales fueron fundamentales para la obtención de los resultados presentados.

A la Dra. Ilse Monroy Rodríguez directora de la tesis por su valiosa orientación, paciencia, apoyo constante y risas durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos y por su dedicación en la formación académica y profesional que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A la Dra. Judith Jaimez Ordaz por su apoyo, disposición y acompañamiento durante todo este proceso. Gracias por compartir conmigo tantos conocimientos desde que me dio clase y por cada consejo, observación y explicación que hicieron mucho más llevadero el camino de esta tesis.

Sus experiencias y orientaciones fueron clave para poder llegar hasta el final (y no rendirme en el intento).

El presente trabajo de tesis fue posible gracias a mis padres por su apoyo constante e incondicional y la confianza en cada etapa de mi formación académica. Gracias por ser mi motivación y por creer siempre en mí; este logro también es suyo.

A mis hermanos por apoyarme en cualquier decisión que he tomado, por las risas y bromas en mis momentos de estrés. Aunque quizá no entendieran mucho de mi tesis, siempre estuvieron ahí apoyándome. Este logro también es parte de ustedes, por su cariño, paciencia y por nunca dejarme rendirme.

A mis dos abuelitas por todo el cariño que me dan, sus palabras de ánimo y por seguir acompañándome con su amor en cada paso de mi vida. A mis abuelitos que, aunque ya no estén físicamente, sé que su ejemplo y sus enseñanzas siguen guiándome siempre. Este logro también es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

A mi familia y amigos, gracias por su apoyo, sus palabras de ánimo y por acompañarme durante este proceso. Este logro también es gracias a ustedes.

A mis 8 perrhijos por acompañarme en los desvelos, por sus interrupciones oportunas y por llenarme de amor (y muchos pelitos) durante este proceso. Hicieron esta etapa mucho más divertida.



## Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi mamá Claudia Iveth Mejia De Jesús por tu amor infinito, por cuidarme, apoyarme y creer siempre en mí incluso en los momentos más difíciles. Eres mi ejemplo, mi fuerza y mi lugar seguro. Este logro es también tuyo, porque todo lo que soy lleva un pedacito de ti.

A mi papá Mario Alberto Ramos Chavez por tu esfuerzo y por sacarnos adelante a mis hermanos y a mí. Estoy profundamente agradecida por todo lo que hiciste para que nunca nos faltara nada y por enseñarme, con tu ejemplo, el valor del trabajo y la perseverancia.

A mi hermano Mario Alberto Ramos Mejia por siempre estar para mí, por los conciertos que llenaron de recuerdos felices esta etapa y por apoyarme cuando fui foránea.

A mi hermano Luis Ángel Ramos Mejia por ser mi roomie y mi compañero de fiestas cuando fuimos foráneos, por las risas, el apoyo y por cubrirnos mutuamente con nuestros papás más de una vez.

A mis perrhijos Jack, Lucas, Pulga, Molly, Chiquilín, Güera, Teddy, Tachuela y Peluso gracias por ser siempre un refugio de paz y felicidad durante este camino. Este logro también lleva sus huellitas.



“Este es tu momento de brillar. Haz que se sientan orgullosos”

-Mushu

Parte de los resultados obtenidos en esta investigación se presentaron en el congreso  
Latin Food 2024



## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. Introducción</b>                                                             | 1  |
| <b>2. Marco teórico</b>                                                            | 3  |
| 2.1 Generalidades sobre el garbanzo                                                | 3  |
| 2.1.1 Producción de garbanzo a nivel nacional e internacional                      | 5  |
| 2.1.2 Componentes nutricionales del garbanzo                                       | 8  |
| 2.1.3 Aspectos nutricionales y aplicaciones funcionales de la proteína de garbanzo | 10 |
| 2.2 Aceite de aguacate                                                             | 14 |
| 2.3 Emulsiones en alimentos                                                        | 16 |
| 2.3.1 Uso de proteína de garbanzo como estabilizante de emulsiones                 | 20 |
| 2.4 Aderezos y mayonesas veganas                                                   | 22 |
| <b>3. Justificación</b>                                                            | 25 |
| <b>4. Objetivos</b>                                                                | 26 |
| 4.1 Objetivo general                                                               | 26 |
| 4.2 Objetivos específicos                                                          | 26 |
| <b>5. Material y métodos</b>                                                       | 27 |
| 5.1 Concentrado de proteína                                                        | 28 |
| 5.1.1 Extracción por solubilidad y precipitación por punto isoeléctrico            | 28 |
| 5.2 Diseño de experimentos factorial 2 x 3                                         | 29 |
| 5.3 Propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo          | 30 |
| 5.3.1 Solubilidad                                                                  | 30 |
| 5.3.2 Capacidad de retención de agua                                               | 31 |
| 5.3.3 Capacidad de retención de aceite                                             | 31 |
| 5.3.4 Índice de actividad emulsionante                                             | 31 |
| 5.3.5 Estabilidad emulsionante                                                     | 32 |
| 5.4 Elaboración de las emulsiones como base del aderezo                            | 32 |
| 5.5 Caracterización de las emulsiones                                              | 33 |
| 5.5.1 Tamaño de partícula (TP) e Índice de Polidispersidad (IPD)                   | 33 |
| 5.5.2 Potencial zeta ( $\zeta$ )                                                   | 34 |
| 5.5.3 Reología                                                                     | 34 |
| 5.5.4 Color                                                                        | 34 |
| 5.6 Cinéticas de estabilidad de las emulsiones                                     | 35 |

|                                                                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.6.1. Transmisión y retrodispersión de luz.....                                                                                                        | 35        |
| 5.7 Análisis estadístico .....                                                                                                                          | 35        |
| <b>6. Resultados y discusión .....</b>                                                                                                                  | <b>36</b> |
| 6.1. Análisis de calidad de harina de garbanzo y obtención de concentrado proteico .                                                                    | 36        |
| 6.2 Evaluación de los cambios en las propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo por efecto del pH y tratamiento térmico..... | 37        |
| 6.2.1 Solubilidad .....                                                                                                                                 | 37        |
| 6.2.2 Capacidad de retención de agua .....                                                                                                              | 39        |
| 6.2.3 Capacidad de retención de aceite.....                                                                                                             | 40        |
| 6.2.4 Índice de actividad emulsionante .....                                                                                                            | 42        |
| 6.2.5 Estabilidad emulsionante .....                                                                                                                    | 43        |
| 6.3 Caracterización de las emulsiones.....                                                                                                              | 45        |
| 6.3.1Tamaño de partícula (TP) e índice de polidispersidad (IPD) .....                                                                                   | 46        |
| 6.3.2 Potencial zeta ( $\zeta$ ) .....                                                                                                                  | 48        |
| 6.3.3 Reología.....                                                                                                                                     | 49        |
| 6.3.4 Color .....                                                                                                                                       | 52        |
| 6.4 Cinéticas de estabilidad de las emulsiones.....                                                                                                     | 53        |
| 6.4.1. Transmisión y retrodispersión de luz (Turbiscan Lab®) .....                                                                                      | 53        |
| <b>7. Conclusiones .....</b>                                                                                                                            | <b>57</b> |
| <b>8. Referencias .....</b>                                                                                                                             | <b>58</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Estructura de la planta y grano de garbanzo.....                                                                                                                                                                     | 4  |
| Figura 2. Principales variedades de garbanzo: desi y kabuli.....                                                                                                                                                               | 5  |
| Figura 3. Tipos de emulsiones.....                                                                                                                                                                                             | 17 |
| Figura 4. Esquema del proceso experimental para la evaluación de las propiedades emulsificantes del concentrado de proteína de garbanzo y su aplicación en la formulación de una emulsión tipo aderezo. ....                   | 27 |
| Figura 5. Precipitado de proteína de garbanzo .....                                                                                                                                                                            | 29 |
| Figura 6. Concentrado de proteína de garbanzo .....                                                                                                                                                                            | 36 |
| Figura 7. Gráfica de contorno de solubilidad .....                                                                                                                                                                             | 39 |
| Figura 8. Gráfica de contorno de capacidad de retención de agua .....                                                                                                                                                          | 40 |
| Figura 9. Gráfica de contorno de capacidad de retención de aceite .....                                                                                                                                                        | 41 |
| Figura 10. Gráfica de contorno del índice de actividad emulsionante .....                                                                                                                                                      | 43 |
| Figura 11. Índice de estabilidad de la emulsión en función del pH y tratamiento térmico: (A)CPG 7; (B)CPG 7.3; (C)CPG 7.6; (D)CPG 9; (E)CPG 9.3; (F)CPG 9.6 .....                                                              | 45 |
| Figura 12. Efecto del pH y del tratamiento térmico sobre el tamaño de partícula (TP) y el índice de polidispersidad (IPD) de las emulsiones. ....                                                                              | 47 |
| Figura 13. Efecto del pH y del tratamiento térmico sobre el potencial zeta ( $ \zeta $ ) de las emulsiones .....                                                                                                               | 49 |
| Figura 14. Curvas de flujo de las emulsiones estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo: (A) CPG/AG 7; (B) CPG/AG 7.3; (C) CPG/AG 7.6; (D) CPG/AG 9; (E) CPG/AG 9.3; (F) CPG/AG 9.....                              | 51 |
| Figura 15. Cinéticas de retrodispersión y transmisión en función del tiempo de emulsiones de aceite de aguacate estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo a pH 7: A) CPG/AG 7, B) CPG/AG 7.3 y C) CPG/AG 7.6 ..... | 55 |
| Figura 16. Cinéticas de retrodispersión y transmisión en función del tiempo de emulsiones de aceite de aguacate estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo a pH 9: A) CPG/AG 9, B) CPG/AG 9.3 y C) CPG/AG 9.6 ..... | 56 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Producción de garbanzo en México en el periodo 2022-2024 .....                                                                                          | 6  |
| Tabla 2. Producción mundial de garbanzo en el ciclo 2023.....                                                                                                    | 8  |
| Tabla 3. Composición nutricional de las variedades de garbanzo kabuli y desi en 100 g de producto .....                                                          | 10 |
| Tabla 4. Clasificación de las propiedades tecno-funcionales de las proteínas .....                                                                               | 11 |
| Tabla 5. Composición de aminoácidos del garbanzo en las variedades desi y kabuli (g de aminoácidos/100 g de proteína) .....                                      | 13 |
| Tabla 6. Tamaño de gota en emulsiones alimentarias obtenidas mediante diferentes métodos de homogeneización de alta energía .....                                | 19 |
| Tabla 7. Antecedentes del uso de proteína de garbanzo como agente emulsionante .....                                                                             | 22 |
| Tabla 8. Composición de ingredientes de mayonesas veganas comerciales .....                                                                                      | 24 |
| Tabla 9. Tratamientos aplicados al concentrado de proteína de garbanzo (CPG).....                                                                                | 30 |
| Tabla 10. Tratamientos aplicados al concentrado de proteína de garbanzo para la elaboración de emulsiones .....                                                  | 33 |
| Tabla 11. Propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo por efecto del pH y tratamiento térmico .....                                    | 37 |
| Tabla 12. Propiedades emulsionantes del concentrado de proteína de garbanzo por efecto del pH y tratamiento térmico .....                                        | 46 |
| Tabla 13. Parámetros colorimétricos (L, a, b*) de emulsiones formuladas con concentrado de proteína de garbanzo en función del pH y el tratamiento térmico ..... | 53 |

# 01

## Introducción



## 1. Introducción

En la actualidad, uno de los principales intereses de la industria alimentaria es ofrecer alimentos sostenibles y nutricionalmente adecuados (Aldaya et al., 2021). Uno de los componentes de mayor valor económico y nutricional son las proteínas, debido a sus diversas funciones fisiológicas (Mora-Valverde, 2010). Tradicionalmente, los avances científicos han favorecido el aprovechamiento de las propiedades de las proteínas de origen animal en la nutrición humana; sin embargo, la producción de estos alimentos presenta como desventaja un alto impacto ambiental (Orejuela-Gómez et al., 2022).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) describe a las legumbres como “semillas nutricionales para un futuro sostenible” (García-Guerreiro et al., 2016). Entre estas, el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) destaca por su versatilidad gastronómica. Este presenta un alto contenido proteico (14.9–24.6 %) y propiedades tecnológicas de interés (Chang et al., 2011). En el mercado existen diversas opciones de aislados y concentrados de proteína, los cuales son utilizados principalmente como suplementos alimentarios. Actualmente, la industria alimentaria busca innovar mediante el desarrollo de formulaciones que incorporen proteínas de origen vegetal.

Recientes investigaciones se han enfocado en evaluar el efecto del procesamiento sobre las propiedades tecnológicas de las proteínas vegetales (Rodríguez et al., 2003). Dicho procesamiento puede modificar las interacciones de las proteínas con otros componentes de los alimentos. Una de las propiedades más relevantes es la capacidad de estabilizar emulsiones, definida como la habilidad de las proteínas para adsorberse en la interfase aceite-agua, favorecer la formación de la emulsión y contribuir a su estabilidad en el tiempo. Esta propiedad se atribuye a la naturaleza anfifílica de las proteínas, cuyas regiones hidrofílicas y lipofílicas facilitan su orientación en la interfase y la estabilización del sistema (Nava et al., 2019; Jiménez-Colmenero, 2013).

Una de las aplicaciones más destacadas de las emulsiones en alimentos es la protección de componentes grasos y compuestos bioactivos liposolubles (Lavaselli et al., 2020), por lo que resulta importante el desarrollo de procesos que favorezcan su formación y estabilidad.



El objetivo del presente estudio es desarrollar y formular un aderezo a base de proteína de garbanzo y aceite de aguacate, mediante la optimización de las propiedades emulsionantes de la proteína, modificadas por el efecto del pH y el tratamiento térmico.

# 02

## Marco teórico



## 2. Marco Teórico

### 2.1 Generalidades del garbanzo

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoideae, tribu *Cicereae*, género *Cicer* y especie *Cicer arietinum* y es considerado una de las legumbres más importantes del mundo por su alto valor nutritivo, debido a su contenido en proteínas, carbohidratos, minerales, almidón y lípidos. Además, es rico en ácidos grasos insaturados nutricionalmente importantes como el ácido linoleico y el ácido oleico (Yegrem, 2021).

Por su composición química y contenido de compuestos bioactivos, como la fibra dietética, oligosacáridos fermentables y ácidos grasos insaturados, el consumo de garbanzo podría tener beneficios potenciales para la salud humana; algunos efectos reportados son la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Merga et al., 2019).

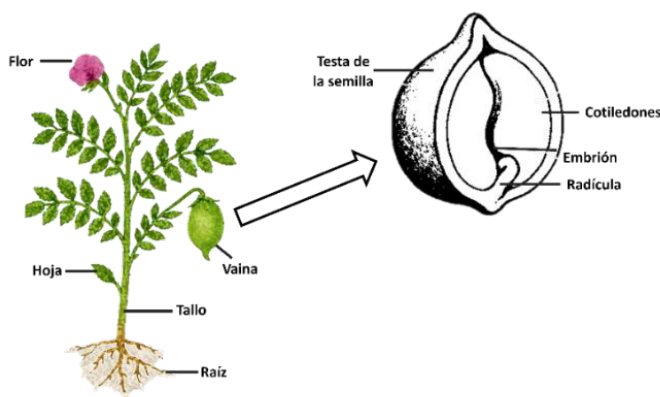
Se cree que el garbanzo se originó en el sureste de Turquía y la región adyacente de Siria. Se cultiva en regiones subtropicales, tropicales y templadas, incluidas Madagascar, las Islas Canarias, la región mediterránea, el noreste de África tropical y Asia occidental y central. Actualmente, se cultiva en más de 50 países (0.4 % en Europa, 2.6 % en Oceanía, 2.9 % en América, 4.3 % en África y 89.7 % en Asia). Pakistán, Turquía, Irán, Myanmar, Australia, Etiopía, Canadá y Estados Unidos son los principales productores de garbanzo y representan el 70 % de la producción mundial (Koul et al., 2022). En México, su consumo se introdujo tras la llegada de los españoles. Actualmente, la mayor parte se cultiva en India y México, este último destaca entre los primeros lugares a nivel mundial como productor. En México se conoce principalmente el garbanzo de color beige; sin embargo, en países como India y Turquía se encuentran variedades rojas, negras y cafés (SIAP, 2018).

En la Figura 1 se ilustra la estructura general de la planta, cuya altura es inferior a un metro. La superficie de la planta, incluyendo raíces, tallo, hojas y vainas, es pubescente y está cubierta de pelos glandulares y no glandulares. El sistema radicular se caracteriza por una raíz pivotante gruesa con varias raíces laterales que forman un sistema robusto. El tallo es firme gracias al colénquima hipodérmico, es angular con nervaduras, recto o flexuoso y pubescente. Las hojas contienen de 5 a 7 pares de folíolos pilosos por hoja, los cuales son

ovalados o elípticos con márgenes dentados. La flor puede describirse como regular, bisexual, con cinco pétalos (de color rosa, blanco, púrpura o azul) en una disposición papilionácea típica con un estandarte grande (Cubero, 1987). Las vainas comienzan a aparecer aproximadamente seis días después de la fertilización y pueden tardar hasta cuatro semanas en completar el desarrollo de la semilla.

La forma de la semilla generalmente se asemeja a la cabeza de un carnero (Aries), de ahí el nombre «arietinum». No presenta endospermo; el tamaño y color dependen de las características del entorno ambiental y es muy variable (blanco, café claro, café oscuro, amarillo pardusco, café rosado, verde o negro). La semilla puede ser lisa o arrugada dependiendo del tipo de variedad y presenta un característico pico prominente (Sotelo et al., 1996).

La estructura del grano está compuesta por la cubierta o testa de la semilla, los cotiledones y el embrión, como se muestra en la Figura 1. El cotiledón representa alrededor del 84 % del peso del grano seco y contiene gránulos de almidón embebidos en una matriz proteica (Cubero, 1987; Chavan et al., 1987).



**Figura 1.** Estructura de la planta y grano de garbanzo (elaboración propia).

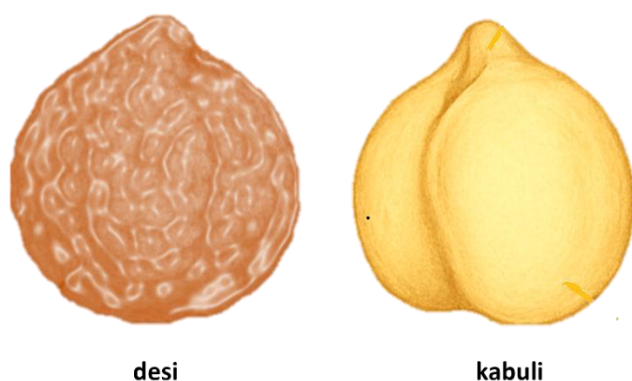
A nivel nacional se reconocen dos variedades principales ampliamente estudiadas y cultivadas debido a sus diferencias morfológicas, agronómicas y de uso alimentario: las variedades desi y kabuli, que se muestran en la Figura 2. La variedad desi se caracteriza por presentar semillas pequeñas, angulosas y de superficie rugosa, generalmente de colores oscuros, como café, negro o verde, y con un tegumento más grueso. Representa



aproximadamente entre el 80 % y el 85 % del garbanzo cultivado en el mundo, destacando además por su mayor contenido de fibra y su uso frecuente en la elaboración de harinas (ICRISAT, 2016).

Por otro lado, la variedad kabuli se distingue por poseer semillas de mayor tamaño, forma redondeada y superficie lisa, con colores claros que van desde color crema al beige. Este tipo presenta una cáscara más delgada y una textura más suave tras la cocción, características que lo hacen preferido para el consumo como grano entero en preparaciones culinarias como guisos, ensaladas y hummus. Diversas revisiones señalan que el kabuli predomina en regiones de clima templado o mediterráneo y que posee una apariencia más atractiva para mercados internacionales (Gaur et al., 2010).

En conjunto, estas dos variedades constituyen los tipos de garbanzo más conocidos y comercializados a nivel global y nacional, cada uno con atributos particulares que determinan su distribución, valor culinario y comportamiento en sistemas de cultivo.



**Figura 2.** Principales variedades de garbanzo: desi y kabuli (elaboración propia).

### **2.1.1 Producción de garbanzo a nivel nacional e internacional**

El garbanzo mexicano es altamente cotizado en el mercado internacional debido a sus características de calidad. En la región noroeste de México, particularmente en los estados de Sinaloa, Sonora y Michoacán, se produce garbanzo de alta calidad, destinándose un alto porcentaje de la producción anual al mercado internacional (Baranzini et al., 2010).

En la Tabla 1 se muestra el ciclo de producción de garbanzo 2022–2024. La producción nacional alcanzó 260,514.37 toneladas, cultivadas en una superficie total de 122,073.82 hectáreas, con un rendimiento promedio de 2.13 t/ha. Sinaloa se consolidó como el principal productor del país, al concentrar el 79.2 % de la producción nacional (210,901.72 t) y el 79.7 % de la superficie cosechada, además de presentar un rendimiento elevado de 2.17 t/ha. En segundo lugar, Sonora aportó el 7.2 % de la producción nacional y el 7 % de la superficie, con un rendimiento de 2.16 t/ha, superior al promedio nacional y tercer lugar se ubicó Michoacán, con el 7 % de la producción y el 7.8 % de la superficie (SIAP, 2024).

**Tabla 1.** Producción de garbanzo en México en el periodo 2022-2024.

| Estado              | Producción (t) | Superficie (ha) | Rendimiento (t/ha) |
|---------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Sinaloa             | 210,901.72     | 97,289.25       | 2.17               |
| Sonora              | 18,479.00      | 8,541.00        | 2.16               |
| Michoacán           | 18,349.14      | 9,466.50        | 1.94               |
| Baja California Sur | 2,881.20       | 1,470.00        | 1.96               |
| Guanajuato          | 8,089.15       | 3,950.00        | 2.05               |
| Guerrero            | 782.93         | 786.17          | 1.00               |
| Jalisco             | 629.46         | 298.00          | 2.11               |
| Oaxaca              | 290.45         | 229.90          | 1.26               |
| Querétaro           | 111.32         | 43.00           | 2.59               |
| TOTAL               | 260,514.37     | 122,073.82      | 2.13               |

Fuente: SIAP, 2024.

El garbanzo es una de las principales fuentes de alimentación humana y animal y se sitúa en la lista de leguminosas más cultivadas del mundo, después de la soya (*Glycine max*), el haba (*Vicia faba*), los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) y el chícharo (*Pisum sativum*) (Echevarría et al., 2019).

La Tabla 2 presenta información correspondiente al ciclo 2023 sobre la producción mundial de garbanzo. La producción alcanzó 16.52 millones de toneladas, cultivadas en una

superficie total de 14.10 millones de ha, con un rendimiento promedio global de 1.17 t/ha. India se consolidó como el principal productor a nivel mundial, al concentrar aproximadamente el 74.3 % de la superficie cosechada y el 74.2 % de la producción total, lo que confirma su papel dominante en el mercado internacional, aunque con un rendimiento cercano al promedio mundial (1.17 t/ha). En contraste, países como Australia y Etiopía mostraron una menor participación en superficie (2.0 % y 1.5 %, respectivamente), pero con rendimientos superiores al promedio, destacando Australia con 3.30 t/ha y Etiopía con 2.15 t/ha, lo que refleja una mayor eficiencia productiva. México aportó cerca del 0.5 % de la producción mundial, con un rendimiento de 1.89 t/ha, superior al promedio global, lo que indica un buen desempeño productivo a pesar de su limitada superficie. Por otro lado, Sudán registró el mayor rendimiento (4.05 t/ha), aunque con una participación reducida en superficie y producción, mientras que Pakistán presentó uno de los rendimientos más bajos (0.29 t/ha), evidenciando amplias diferencias en eficiencia productiva entre los países productores (SIAP, 2023).

**Tabla 2.** Producción mundial de garbanzo en el ciclo 2023.

| <b>País</b>     | <b>Producción<br/>(t)</b> | <b>Superficie (ha)</b> | <b>Rendimiento<br/>(t/ha)</b> |
|-----------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|
| India           | 12,267,290                | 10,470,862             | 1.172                         |
| Australia       | 935,390                   | 283,303                | 3.302                         |
| Turquía         | 580,000                   | 458,772                | 1.264                         |
| Federación Rusa | 530,495                   | 403,482                | 1.315                         |
| Etiopía         | 451,309                   | 210,408                | 2.145                         |
| Myanmar         | 411,672                   | 321,165                | 1.282                         |
| Pakistán        | 243,600                   | 842,749                | 0.289                         |
| Estados Unidos  | 214,190                   | 145,360                | 1.474                         |
| Irán            | 175,020                   | 423,792                | 0.413                         |
| México          | 142,684                   | 75,347                 | 1.894                         |
| Canadá          | 142,112                   | 127,400                | 1.115                         |
| Sudán           | 98,549                    | 24,348                 | 4.048                         |
| Argentina       | 65,934                    | 66,672                 | 0.989                         |
| Argelia         | 39,970                    | 34,067                 | 1.173                         |
| Yemen           | 34,499                    | 15,853                 | 2.176                         |
| Siria           | 30,019                    | 51,612                 | 0.582                         |
| Marruecos       | 25,702                    | 45,096                 | 0.570                         |
| Resto           | 129,158                   | 96,468                 |                               |
| <b>TOTAL</b>    | <b>16,517,592</b>         | <b>14,096,756</b>      | <b>1.172</b>                  |

Fuente: SIAP, 2023.

### 2.1.2 Componentes nutricionales del garbanzo

El garbanzo es una fuente importante de carbohidratos y proteínas, ya que estos componentes representan aproximadamente el 80 % del peso total del grano (Aguilar-Raymundo et al., 2013). Los carbohidratos del garbanzo están compuestos por monosacáridos como galactosa (0.05 %), ribosa (0.1 %), fructosa (0.25 %) y glucosa (0.7

%). El almidón es el principal carbohidrato de reserva, seguido de la fibra dietética, los oligosacáridos y los azúcares simples como la glucosa y la sacarosa (1-2 %) (Aguilar-Raymundo et al., 2013). Por otra parte, el grano de garbanzo contiene aproximadamente 6 % de grasa; su contenido lipídico comprende principalmente ácidos grasos poliinsaturados (62-67 %), monoinsaturados (19-26 %) y saturados (12-14 %) (Wood et al., 2007). Además, el garbanzo es una buena fuente de vitaminas como riboflavina, niacina, tiamina, folato y  $\beta$ -caroteno, precursor de la vitamina A (Hirdyani, 2014). Respecto al contenido de minerales, el garbanzo es una buena fuente de calcio y hierro, siendo este último un mineral con alta bioaccesibilidad (Murty et al., 2010).

En cuanto a la concentración de proteína, esta varía significativamente entre 17 y 22 g por 100 g de producto, y puede incrementarse hasta 25.3-28.9 g cuando el grano es descascarado (Aguilar-Raymundo et al., 2013). Las concentraciones de proteína en las variedades kabuli y desi muestran diferencias significativas: la variedad kabuli presenta aproximadamente 20.5 %, mientras que la variedad desi alcanza hasta 29.2 % (Gaur et al., 2016). En la Tabla 3 se presenta la composición nutricional de ambas variedades de garbanzo.



**Tabla 3.** Composición nutricional de las variedades de garbanzo kabuli y desi en 100 g de producto.

| Componente    | Garbanzo blanco<br>(kabuli) | Garbanzo rojo<br>(desi) |
|---------------|-----------------------------|-------------------------|
| Carbohidratos | 55 g                        | 66.3 g                  |
| Lípidos       | 2 g                         | 5 g                     |
| Proteínas     | 19 g                        | 22.7 g                  |
| Vitaminas     |                             |                         |
| Tiamina       | 0.4 mg                      | 0.4 mg                  |
| Niacina       | 4.3 mg                      | 4.3 mg                  |
| Riboflavina   | 0.15 mg                     | 0.15 mg                 |
| Minerales     |                             |                         |
| Hierro        | 6.7 mg                      | 3.2 mg                  |
| Magnesio      | 160 mg                      | 160 mg                  |
| Calcio        | 145 mg                      | 140 mg                  |

Fuente: Elaboración propia con base en Ávila-Miramontes et al. (2014).

### 2.1.3 Aspectos nutricionales y aplicaciones funcionales de la proteína de garbanzo

Actualmente, debido al incremento en la demanda de proteínas a nivel mundial por su importancia en la nutrición de la población, las proteínas vegetales (oleaginosas, leguminosas, pseudocereales, cereales, algas y hojas) han cobrado gran interés, ya que representan una alternativa saludable y de bajo costo en comparación con las proteínas animales. En este contexto, los aislados de proteína de origen vegetal están ganando relevancia en la industria alimentaria debido a su alto contenido proteico (Alvarado, 2014).

En este sentido, las legumbres, en especial el garbanzo, son una buena fuente de proteínas. Del contenido total de proteína, aproximadamente el 70-80 % corresponde a proteínas de reserva, dentro de las cuales se incluyen principalmente las albúminas (12 %), globulinas (60 %), glutelinas (22 %) y prolaminas (6 %). El 20-30 % restante está constituido por enzimas, proteínas estructurales, transportadoras, inhibidores de enzimas y hormonas, las cuales desempeñan funciones metabólicas y regulatorias esenciales durante el desarrollo y la germinación de la semilla (González-Osuna, 2020).

En el desarrollo de formulaciones alimentarias ricas en proteína, resulta fundamental definir y analizar las propiedades tecno-funcionales de las proteínas vegetales. Estas corresponden a características no nutricionales que determinan su capacidad para interactuar con los distintos componentes del alimento (Boye et al., 2010). Dichas características influyen en las propiedades fisicoquímicas de los productos, afectando la textura, apariencia, estabilidad, emulsificación, solubilidad, formación de espuma, gelificación, capacidad de retención de agua y aceite, cohesión-adhesión, elasticidad y viscosidad. La evaluación de estos atributos es indispensable para su adecuada incorporación en formulaciones y para que las proteínas desempeñen funciones estructurales en los alimentos (Gençdag et al., 2020).

En la Tabla 4 se presenta la clasificación de las propiedades tecno-funcionales en tres grupos principales (Porras, 2010): (1) propiedades de hidratación (interacción proteína-agua), (2) propiedades de superficie y (3) propiedades dependientes de la interacción proteína-proteína. Entre las más relevantes en la elaboración de alimentos se encuentran la absorción de agua, absorción de aceite, emulsificación, formación de espuma, gelificación y solubilidad, ya que influyen tanto en las características organolépticas, particularmente en la textura, como en el procesamiento de productos de confitería, bebidas, postres y productos cárnicos (Porras, 2010).

**Tabla 4.** Clasificación de las propiedades tecno-funcionales de las proteínas.

| Propiedad tecno-funcional | Descripción                                                                                                                                        |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| De hidratación            | Adsorción de agua, absorción de agua, succulencia, hinchamiento, retención de agua, absorción de aceite, solubilidad, dispensabilidad y viscosidad |
| De superficie             | Formación y estabilización de emulsiones y espumas                                                                                                 |
| Proteína-proteína         | Propiedades importantes para la textura y reología del alimento: precipitación, floculación, coagulación, gelificación, texturización              |

**Fuente:** Elaboración propia con base en Porras, 2010.

Las globulinas son proteínas solubles en sal, siendo la legumina y la vicilina las principales proteínas de este tipo en el garbanzo. La legumina contiene mayores niveles de metionina y cisteína que la vicilina. Las glutelinas son solubles en ácidos o álcalis diluidos y contienen metionina y cisteína. Las prolaminas (solubles en alcohol) presentan una alta proporción de prolina y glutamina (Rachwa-Rosiak et al., 2015).

La digestibilidad *in vitro* de la proteína de garbanzo presenta valores entre 65.3 % y 79.4 % aproximadamente, superiores a los del frijol (55.7-72.2 %) y comparables o ligeramente mayores a los de la soya (62.7-71.6 %), lo que confirma su alto valor nutricional entre las legumbres (Chitra et al., 1995). El parámetro de digestibilidad puede incrementarse mediante tratamientos como remojo, cocción, fermentación o hidrólisis enzimática, ya que estos procesos reducen la presencia de factores antinutricionales y mejoran la disponibilidad de aminoácidos. Además, se ha reportado que la digestibilidad es generalmente mayor en las variedades tipo kabuli en comparación con el tipo desi (Begum et al., 2023).

Desde el punto de vista nutricional, la digestibilidad influye directamente en el valor biológico de la proteína, ya que solo la fracción digerida puede utilizarse para la síntesis de tejidos (Aguilera et al., 2023). El valor biológico indica la proporción de nitrógeno absorbido que se retiene para la síntesis proteica en el organismo (Kolpakova et al., 2022).

En la Tabla 5 se presenta el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales de las variedades de garbanzo desi y kabuli. Aminoácidos esenciales como la leucina, isoleucina y fenilalanina, asociados con la síntesis proteica, presentan valores ligeramente mayores en la variedad kabuli en comparación con la desi. Por otro lado, la lisina muestra concentraciones similares en ambas variedades, lo que resalta su importancia como ingrediente en la complementación proteica en formulaciones alimentarias (Begum et al., 2023).

Respecto a los aminoácidos no esenciales, destaca el alto contenido de arginina en ambas variedades; este aminoácido se asocia con beneficios metabólicos y cardiovasculares (Sudar-Milovanovic et al., 2016). Asimismo, aminoácidos como alanina, prolina y glicina se encuentran en concentraciones comparables en ambas variedades, contribuyendo a

las propiedades estructurales y funcionales de las proteínas del garbanzo (Pascual-Bustamante et al., 2024).

**Tabla 5.** Composición de aminoácidos del garbanzo en las variedades desi y kabuli (g de aminoácidos/100 g de proteína).

| Aminoácidos   | Desi | Kabuli |
|---------------|------|--------|
| Esenciales    |      |        |
| Histidina     | 2.66 | 2.00   |
| Lisina        | 5.55 | 5.47   |
| Leucina       | 6.30 | 6.69   |
| Isoleucina    | 3.70 | 3.90   |
| Treonina      | 3.23 | 3.13   |
| Fenilalanina  | 5.42 | 5.81   |
| No esenciales |      |        |
| Arginina      | 8.11 | 8.07   |
| Glicina       | 3.12 | 2.54   |
| Alanina       | 3.40 | 3.44   |
| Prolina       | 3.95 | 4.04   |
| Serina        | 4.96 | 3.39   |

**Fuente:** Elaboración propia con base en Begum et al., 2023

Uno de los métodos más prácticos para mejorar la accesibilidad y la concentración de las proteínas en productos vegetales es mediante la preparación de concentrados y aislados proteicos. El Codex Alimentarius define como productos proteicos vegetales (PPV) a los aislados y concentrados que pueden ser empleados en la industria alimentaria (CODEX, 1989). En un aislado proteico, el contenido de proteína es mayor al 90 %, mientras que el porcentaje restante está constituido por pequeñas fracciones de carbohidratos, lípidos, minerales y humedad, los cuales pueden influir en sus propiedades tecno-funcionales y en su comportamiento durante el procesamiento de alimentos (Fernández-Quintela et al., 1997). En el caso de un concentrado proteico, el contenido de proteína se encuentra entre el 65 % y el 90 %, mientras que una harina proteica presenta entre el 50 % y el 65 % (Jaimes et al., 2014).

El proceso de obtención de aislados proteicos implica una serie de etapas encaminadas a eliminar o disminuir los componentes no proteicos. Los concentrados de proteína se obtienen a partir de harinas de semillas, cereales o legumbres. En estos, pueden encontrarse concentraciones elevadas de componentes no deseados en el producto final, como fibra, azúcares reductores, fenoles, lípidos y glucosinolatos en el caso de la colza (Vioque et al., 2001).

Para la obtención de concentrados se emplean métodos como la separación por solubilidad, precipitación isoelectrica parcial, filtración convencional, centrifugación diferencial, tratamiento térmico controlado y extracción con solventes alimentarios. En el caso de los aislados proteicos, se utilizan técnicas como ultrafiltración, diálisis, extracción alcalina-precipitación isoelectrica, electrodiálisis y cromatografía (Vioque et al., 2001).

Más allá de los métodos de obtención y procesamiento, las proteínas de garbanzo también presentan propiedades biofuncionales de interés. Los péptidos derivados de su hidrólisis han mostrado evidencia de diversas actividades biológicas, entre las que se incluyen efectos hipocolesterolémicos, antifúngicos, antiinflamatorios, antioxidantes, hipoglucémicos y antihipertensivos (Real-Hernández et al., 2019).

En sistemas alimentarios como las emulsiones, estas propiedades tecno-funcionales permiten que las proteínas interactúen con fases lipídicas, lo que resulta fundamental para la estabilización de sistemas aceite-agua empleados en diversos productos alimenticios.

## **2.2 Aceite de aguacate**

En la formulación de sistemas emulsionados, la selección de la fase oleosa es un factor determinante en la estabilidad, valor nutricional y características sensoriales del producto final. En este contexto, el aceite de aguacate ha cobrado interés en la industria alimentaria debido a su perfil lipídico y sus propiedades funcionales.

El Codex Alimentarius define los aceites vegetales comestibles como productos alimenticios compuestos principalmente por glicéridos de ácidos grasos, obtenidos exclusivamente de fuentes vegetales (CODEX, 1999). Estos pueden contener pequeñas cantidades de otros lípidos, como fosfolípidos, compuestos insaponificables y ácidos



grasos libres presentes de forma natural en la grasa o el aceite. Asimismo, se clasifican como aceites vírgenes, prensados en frío o refinados, según su proceso de elaboración (Duarte et al., 2016; Aparicio et al., 2018).

El aguacate es una fuente importante para la obtención de aceite rico en antioxidantes, como vitamina E, carotenoides y compuestos fenólicos. Además, el aceite de aguacate presenta un punto de humo elevado (250 °C o superior), lo que le confiere estabilidad térmica durante su uso (Yepes et al., 2017). La pulpa de este fruto posee un alto contenido de lípidos, que varía entre 5 % y 35 %, constituidos principalmente por ácidos grasos insaturados (60-84 %). Variedades como Hass, Wagner, Fortuna y Fuerte presentan menores proporciones de semilla y cáscara, lo que las hace más adecuadas para la extracción de aceite debido a su mayor rendimiento de pulpa (Duarte et al., 2016). No obstante, el elevado contenido de humedad en la pulpa fresca representa el principal obstáculo en su procesamiento, ya que afecta el rendimiento de extracción y los costos de producción. En este sentido, variedades como Hass y Ryan, con aproximadamente 18 % de lípidos y menor contenido de humedad, resultan más adecuadas para la obtención de aceite (Duarte et al., 2016).

Desde el punto de vista nutricional, el aceite de aguacate destaca por su composición lipídica y la presencia de compuestos bioactivos. Se caracteriza principalmente por un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y una baja proporción de ácidos grasos saturados, así como por la aportación de vitaminas liposolubles y otros componentes menores, los cuales han sido asociados con efectos beneficios sobre la salud. De su contenido de lípidos, aproximadamente el 60 % de los ácidos grasos son monoinsaturados, alrededor del 20 % son poliinsaturados y el resto corresponde a grasas saturadas. Durante la maduración del fruto, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el de ácido oleico (monoinsaturado) (Duester et al., 2000). Se ha reportado que el consumo de grasas monoinsaturadas se asocia con efectos benéficos para la salud, como la prevención de la arteriosclerosis y el control de la presión arterial (Salas et al., 1999). Asimismo, su ingesta puede contribuir a reducir la necesidad de medicamentos antihipertensivos y a mejorar el perfil lipídico en pacientes con hipercolesterolemia moderada (Cerrato, 2000; Wallace et al., 2016).

Además de su valor nutricional, el aceite de aguacate ha despertado un creciente interés desde el punto de vista tecnológico debido a su composición lipídica y a su estabilidad oxidativa, características que favorecen su incorporación en el desarrollo de sistemas de dispersión. Estas propiedades lo convierten en un ingrediente funcional atractivo para su aplicación en productos procesados, particularmente en formulaciones basadas en emulsiones, donde la fase lipídica desempeña un papel determinante en la textura, estabilidad y aceptabilidad sensorial del alimento (Duarte et al., 2016). En este sentido, estas características hacen del aceite de aguacate una fase oleosa adecuada para su incorporación en sistemas emulsionados, como aderezos y mayonesas, donde su interacción con agentes emulsificantes es clave para la estabilidad del producto.

### **2.3 Emulsiones en alimentos**

Una emulsión es un sistema heterogéneo constituido por dos líquidos inmiscibles entre sí, en el cual una de las fases se encuentra dispersa en la otra en forma de finas gotas o glóbulos. La fase dispersa, también llamada fase interna o discontinua, es el líquido que se distribuye en forma de gotas dentro de otra fase líquida, la cual actúa como medio dispersante (Lui, 2009). De acuerdo con la fase continua, las emulsiones se clasifican en aceite en agua (O/W, *oil in water*) o agua en aceite (W/O, *water in oil*). Esta clasificación determina sus propiedades y aplicaciones en alimentos.

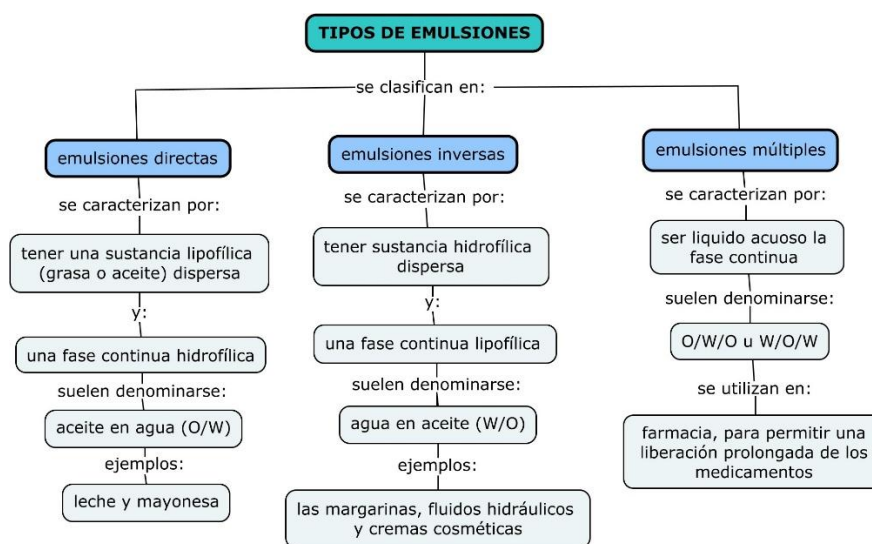
Por otra parte, las emulsiones también pueden clasificarse según el tamaño de las gotas de la fase dispersa. Las macroemulsiones presentan diámetros de gota mayores a 1  $\mu\text{m}$  y suelen ser opacas, mientras que las microemulsiones tienen gotas en el rango de 10-200 nm, lo que les confiere transparencia o semitransparencia (Suhail et al., 2021).

En cuanto a su composición, una emulsión está formada por una fase oleosa y una fase acuosa. La fase oleosa (O) puede estar constituida por compuestos químicos orgánicos de síntesis, como hidrocarburos, o por grasas y aceites de origen natural, como los aceites vegetales. Asimismo, pueden emplearse lípidos naturales modificados químicamente, como las grasas hidrogenadas. Entre los principales componentes de la fase oleosa en

emulsiones alimentarias se encuentran los ácidos grasos y, principalmente, los triglicéridos (Muñoz et al., 2007).

Por su parte, la fase acuosa (W) raramente consiste en agua pura, ya que generalmente contiene diversos compuestos de naturaleza hidrofílica. Entre los componentes solubles en esta fase se incluyen sales, ácidos, bases, azúcares, tensioactivos y proteínas (en los dos últimos casos, estos pueden encontrarse en exceso respecto a las cantidades presentes en la interfase O/W, por incompatibilidad con la interfase o por desplazamiento de la misma durante el procesamiento), así como estabilizantes (polisacáridos y polímeros), conservadores y algunos colorantes, como el extracto de pimentón (Muñoz et al., 2007).

En la Figura 3 se muestra la clasificación de las emulsiones de acuerdo con la naturaleza de sus fases. Las emulsiones directas (O/W) se caracterizan por la dispersión de la fase oleosa en un medio acuoso y son comunes en alimentos como la leche y la mayonesa. En contraste, las emulsiones inversas (W/O) presentan gotas de agua dispersas en una fase oleosa continua y se emplean en productos como margarinas y cremas. Por su parte, las emulsiones múltiples consisten en sistemas más complejos, como W/O/W u O/W/O, utilizados principalmente en aplicaciones farmacéuticas para la liberación controlada de compuestos activos (Yaqoob et al., 2006).



**Figura 3.** Tipos de emulsiones (elaboración propia con base en McClements, 2004).

Los estudios presentados en la Tabla 6 demuestran que el tamaño de gota en emulsiones alimentarias depende tanto del método de homogeneización de alta energía como de la composición del sistema y del tipo de emulsificante o estabilizante empleado. De acuerdo con la clasificación descrita previamente, los tamaños reportados corresponden principalmente a nanoemulsiones, caracterizadas por gotas menores a 200 nm, lo que se asocia con una mayor estabilidad y funcionalidad del sistema.

La literatura reportada indica que tanto el método de homogeneización como la composición de la emulsión influyen de manera determinante en el tamaño de gota y, en consecuencia, en la estabilidad fisicoquímica de las emulsiones alimentarias. La homogeneización con sistemas de alta energía permite obtener tamaños de gota inferiores a 200 nm en sistemas estabilizados con proteínas y tensioactivos (Zeeb et al., 2015; Sotomayor-Gerding et al., 2016; Yerramilli et al., 2017). Por su parte, la emulsificación ultrasónica ha demostrado una mayor eficiencia en la reducción del tamaño de gota, alcanzando diámetros inferiores a 100 nm, efecto asociado a los fenómenos de cavitación y a la composición de la fase oleosa (Tabibiazar et al., 2015; Huang et al., 2017).

La microfluidización destaca como una de las técnicas más efectivas para la producción de nanoemulsiones con tamaños de gota ultrafinos, especialmente cuando se emplean polímeros como estabilizantes, los cuales favorecen la formación de barreras interfaciales estables (Salvia-Trujillo et al., 2015; Karthik et al., 2016). En conjunto, estos antecedentes confirman que la selección adecuada del método de homogeneización y de los componentes de la emulsión, particularmente proteínas y polisacáridos, es clave para controlar el tamaño de partícula y mejorar la estabilidad de emulsiones destinadas a aplicaciones alimentarias.

En la tabla 6 se presentan algunos estudios con diferente tamaño de gota, que pueden clasificarse como nanoemulsiones (<200 nm) y algunos intermedios entre micro y nanoemulsiones. Esta variabilidad se debe a diferencias en la composición del sistema y en las condiciones de procesamiento, que provocan que los sistemas puedan presentar diferentes distribuciones de tamaño de gota.

**Tabla 6.** Tamaño de gota en emulsiones alimentarias obtenidas mediante diferentes métodos de homogeneización de alta energía.

| Sistema                                                             | Método de homogeneización               | Tamaño de gota (nm) | Referencia                     |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Aislado de proteína de chícharo-caseinato de sodio/aceite de maíz   | Homogeneización a alta presión          | 140-180             | Yerramilli et al., 2017        |
| Caseinato de sodio/TAG de cadena media/butanol                      | Homogeneización a alta presión          | < 150               | Zeeb et al., 2015              |
| Albúmina sérica bovina/aceite de maíz/polietilenglicol              | Emulsificación ultrasónica              | = 100               | Tabibiazar et al., 2015        |
| Citral/Span 85-Brij 97/etilenglicol                                 | Emulsificación ultrasónica              | < 100               | Huang et al., 2017             |
| Aceite esencial/alginato                                            | Microfluidización (método de dos pasos) | 2-21                | Salvia-Trujillo et al., 2015   |
| Carotenoide/aceite de linaza/Tween 20                               | Homogeneización a alta presión          | < 200               | Sotomayor-Gerding et al., 2016 |
| Caseinato de sodio/DHA; polisorbato 40/DHA; lecitina de soya/DHA    | Microfluidización (método de dos pasos) | 206-148-760         | Karthik et al., 2016           |
| Aceite de semilla de kenaf/Tween 20                                 | Homogeneización a alta presión          | = 100               | Cheong et al., 2016            |
| Aceite de salvado de trigo/Span 80-Tween 80                         | Emulsificación ultrasónica              | 10-100              | Rebolleda et al., 2015         |
| Ergocalciferol-aceite de soya/lecitina modificada                   | Homogeneización a alta presión          | 126-138             | Shu et al., 2016               |
| Aceites de linaza y algas/Tween 40                                  | Emulsificación ultrasónica              | 200-250             | Lane et al., 2016              |
| Aceite de triglicéridos de cadena media/lecitina de soya o Tween 20 | Emulsificación ultrasónica              | 140-230             | Nash et al., 2017              |

**Nota:** TAG: triacilglicéridos; DHA: ácido docosahexaenoico; Span y Brij: nombres comerciales de tensioactivos no iónicos; kenaf: planta (*Hibiscus cannabinus*) cuyas semillas se emplean para la obtención de aceite. **Fuente:** Elaboración propia.

### **2.3.1 Uso de proteína de garbanzo como estabilizante de emulsiones**

Un emulsionante o estabilizante de emulsiones es un compuesto químico, generalmente de naturaleza macromolecular, que al hidratarse en la fase acuosa confiere estabilidad física a una emulsión aceite en agua (O/W) durante periodos prolongados de almacenamiento (Muñoz et al., 2007). Esta estabilización se logra principalmente al limitar la movilidad de las gotas de la fase dispersa, como consecuencia del aumento de la viscosidad y, en algunos casos, de la viscoelasticidad de la fase continua.

Los emulsionantes contribuyen a la estabilidad de las emulsiones mediante la formación de barreras interfaciales que favorecen principalmente interacciones estéricas entre las gotas; no obstante, las interacciones electrostáticas también pueden desempeñar un papel relevante. Entre los estabilizantes más utilizados se encuentran las proteínas, los polímeros sintéticos hidrófilos y diversos polisacáridos, como la goma xantana, los galactomananos y los almidones (Muñoz et al., 2007).

Desde el punto de vista funcional, las propiedades emulsionantes de los polímeros se describen comúnmente en términos de actividad y estabilidad emulsionante. La actividad emulsionante se refiere a la capacidad de un polímero para dispersar un volumen determinado de fase oleosa por unidad de masa durante el proceso de emulsificación, lo cual se relaciona estrechamente con el tamaño de las gotas formadas. Por su parte, la estabilidad emulsionante describe la capacidad de la emulsión para mantener sus características fisicoquímicas a lo largo del tiempo después de su formación (Tang et al., 2022).

En este contexto, el tamaño de las gotas constituye un factor clave, ya que influye directamente en la estabilidad de la emulsión, así como en su viscosidad y en otras propiedades funcionales relevantes. Por ello, un adecuado proceso de emulsificación de la fase lipídica en la fase acuosa resulta esencial para aplicaciones posteriores, como la formación de películas o la aplicación de recubrimientos (Galus et al., 2015).

La modificación de polímeros, particularmente de proteínas, ha permitido mejorar sus propiedades emulsionantes y ampliar su aplicación en distintos sistemas alimentarios,



incluyendo bebidas, productos horneados, cárnicos y mermeladas. En estos productos, las proteínas modificadas contribuyen a incrementar la viscosidad y la estabilidad, optimizar la textura y mejorar la calidad final del alimento (Galus et al., 2015).

En los últimos años se ha incrementado considerablemente el uso de proteínas vegetales como alternativa a las proteínas de origen animal. Esta tendencia responde a cambios en los hábitos alimentarios de los consumidores, quienes demandan con mayor frecuencia productos basados en plantas. En este contexto, las proteínas vegetales han cobrado relevancia como ingredientes funcionales en la formulación de alimentos (Gómez et al., 2024). Las proteínas vegetales se caracterizan por tener una mayor concentración de aminoácidos hidrofóbicos en comparación con las proteínas animales, por lo que generalmente presentan un carácter más lipófilo. Esta característica influye en su comportamiento funcional en sistemas alimentarios, particularmente en procesos como la emulsificación (Rezaei et al., 2019).

En la Tabla 7 se presentan antecedentes del uso de proteína de garbanzo sometida a diferentes tratamientos y condiciones como estabilizante en emulsiones. Díaz-de-Marco et al. (2020) emplearon un concentrado proteico de garbanzo en emulsiones aceite en agua con aceite de girasol y demostraron que el ajuste de pH (2.5 y 8) influyó significativamente en la estabilidad, observándose una mejor formación de emulsión a pH básico. Por otra parte, Sudarsanan et al. (2023) aplicaron un tratamiento combinado de cambio de pH alcalino-neutral (pH-*shifting* de 12 a 7) y calentamiento (90 °C, 10 min) a un aislado de proteína de garbanzo, logrando una mayor solubilidad y mejor capacidad emulsificante en emulsiones con aceite de soya.

Asimismo, Zhang et al. (2009) evaluaron la influencia del pH (3-10) y la fuerza iónica (NaCl 0.1-1.0 M) sobre aislados proteicos, encontrando que las mejores propiedades emulsificantes se obtuvieron lejos del punto isoeléctrico, especialmente en condiciones alcalinas. Finalmente, Ma et al. (2023) modificaron la proteína de garbanzo mediante homogeneización a alta presión (150 MPa, 1-3 ciclos) y observaron que este tratamiento redujo el tamaño de gota y mejoró significativamente la estabilidad de las emulsiones con aceite de soya.

En conjunto, estos estudios indican que factores como el pH, la fuerza iónica y los tratamientos térmicos y mecánicos influyen en el desempeño emulsificante de las proteínas de garbanzo.

**Tabla 7.** Antecedentes del uso de proteína de garbanzo como agente emulsionante.

| Tipo de emulsión                                                                                               | Modificación/tratamiento de la proteína                              | Resultados                                                                                                                                                                             | Referencias                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Formulación de emulsiones O/W con aceite de girasol empleando concentrado proteico de garbanzo (estabilizante) | Evaluación de la estabilidad a diferentes valores de pH (2.5, 5 y 8) | Mayor estabilidad y mejor formación de emulsión a pH 8, a pesar de un mayor tamaño de gota                                                                                             | Díaz-de-Marco et al., 2020 |
| Emulsiones O/W con aislado de proteína de garbanzo desi (con tratamiento térmico) y aceite de soya             | pH-shifting (pH 12 a 7) y calentamiento (90 °C, 10 min)              | El tratamiento favoreció el despliegue estructural de la proteína, aumentando la solubilidad y la capacidad emulsificante                                                              | Sudarsanan et al., 2023    |
| Aislado de proteína de garbanzo en interfase aceite-agua con aceite de soya                                    | Evaluación del efecto del pH (3–10) y fuerza iónica (NaCl 0.1–1.0 M) | Mejores propiedades emulsificantes a pH alcalino (8–10)                                                                                                                                | Zhang et al., 2009         |
| Emulsión O/W con aislado de proteína de garbanzo y aceite de soya                                              | Homogeneización a alta presión (150 MPa, 1–3 ciclos)                 | Aumento de la solubilidad y de las propiedades emulsificantes; disminución del tamaño de partícula y mejora de la estabilidad de la emulsión en comparación con la proteína no tratada | Ma et al., 2023            |

**Nota:** O/W: emulsión aceite en agua.

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.4 Aderezos y mayonesas veganas

Los aderezos y las mayonesas corresponden a sistemas emulsionados del tipo aceite en agua (O/W); sin embargo, se diferencian principalmente por su contenido de aceite y, en consecuencia, por sus propiedades reológicas y sensoriales. Los aderezos suelen contener una fracción lipídica que varía entre 30-60 %, lo que da lugar a productos menos viscosos y con menor densidad energética (Kaltsa et al., 2018). En contraste, según la

norma NMX-F-021-NORMEX-2006, la mayonesa es una emulsión altamente concentrada, con un contenido de aceite generalmente superior al 65 %, lo que le confiere una textura más espesa y una estructura más estable, tradicionalmente dependiente de la yema de huevo como principal agente emulsificante.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-F-341-S-1979, estos productos se emplean para impartir sabor y mejorar la palatabilidad de otros alimentos. Sin embargo, el uso de huevo limita su consumo en personas con alergia a este ingrediente, así como en consumidores que siguen dietas veganas. En este contexto, se han desarrollado formulaciones alternativas que emplean proteínas vegetales, como las de soya, chícharo, y harinas de quinoa, amaranto y chícharo, las cuales han demostrado actividad emulsificante y estabilizante en aderezos y mayonesas veganas (Bautista Villarreal et al., 2022).

Desde el punto de vista sensorial, tanto los aderezos como las mayonesas deben presentar una apariencia homogénea, textura cremosa, color uniforme y ausencia de separación de fases, así como aroma y sabor característicos, libres de rancidez y de defectos sensoriales. Estas propiedades están directamente relacionadas con el tamaño de gota, la viscosidad de la fase continua y la eficiencia del emulsionante utilizado.

La Tabla 8 muestra ejemplos de formulaciones comerciales de mayonesas etiquetadas como veganas. El análisis de estas formulaciones evidencia que, si bien algunos productos, por ejemplo, la mayonesa vegana Hellmann's, sustituyen el huevo por almidones modificados y otros aditivos para lograr estabilidad, suelen contener un elevado número de ingredientes, incluyendo antioxidantes, estabilizantes y agentes quelantes como el EDTA.

Por otro lado, algunas formulaciones emplean aquafaba (agua de cocción de garbanzo) como principal agente funcional para la estabilización de la emulsión. Asimismo, estas formulaciones se apoyan en ingredientes de origen natural, como aceites vegetales, jugo de limón y vinagre, complementados con estabilizantes de origen vegetal como goma arábiga y goma xantana, así como extractos naturales con función antioxidante, lo que da lugar a listas de ingredientes más cortas, alineadas con las tendencias actuales de

productos de etiqueta limpia y con la demanda de alimentos percibidos como más naturales y saludables.

**Tabla 8.** Composición de ingredientes de mayonesas veganas comerciales.

| Producto                            | Ingredientes                                                                                                                                                                                                                                                                        | Producto                                                                             | Referencia                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Mayonesa vegana<br>Hellmann's       | Aceite de colza (72 %), agua, vinagre de alcohol, azúcar, sal, almidones modificados, jugo de limón concentrado, aromas naturales (contiene mostaza), antioxidante (EDTA), extracto de pimentón                                                                                     |   | Hellmann's,<br>2026          |
| Mayonesa vegana<br>Sir Kensington's | Aceite de girasol (alto oleico), aquafaba orgánica (agua de garbanzo), jugo de limón orgánico, azúcar de coco orgánico, sal, vinagre destilado, goma arábica, extracto de romero, goma xantana, pimienta negra, ácido cítrico, extracto de mostaza, aceite de limón (contiene coco) |  | Sir<br>Kensington's,<br>2026 |

**Fuente:** Elaboración propia.

En este sentido, el uso extensivo de aditivos en ciertos productos se aleja del enfoque *clean label* (etiqueta limpia), el cual se refiere a alimentos formulados con una lista corta de ingredientes, preferentemente naturales, fácilmente reconocibles por el consumidor y con un uso mínimo de aditivos sintéticos o altamente procesados (Kajzer et al., 2021).

En este contexto, el empleo de proteínas vegetales como emulsionantes representa una alternativa estratégica para el desarrollo de aderezos y mayonesas veganas con formulaciones más simples y alineadas con el concepto *clean label*. Además de su función tecnológica, el contenido de proteína es un factor relevante para la calidad nutricional del producto final, ya que contribuye al aporte de aminoácidos esenciales.

# 03

## Justificación



### 3. Justificación

La creciente demanda de alimentos sostenibles y nutricionalmente saludables ha impulsado a la industria alimentaria a buscar alternativas a los ingredientes de origen animal, particularmente en productos emulsionados como aderezos y mayonesas. Tradicionalmente, la yema de huevo ha sido el principal agente emulsificante en estos sistemas; sin embargo, su uso presenta limitaciones relacionadas con el impacto ambiental, restricciones dietéticas y problemas de alergenicidad. En este contexto, las proteínas de origen vegetal representan una alternativa viable, ya que permiten el desarrollo de formulaciones más sostenibles y acordes con las tendencias actuales de consumo.

Entre las fuentes vegetales, la proteína de garbanzo (*Cicer arietinum*) se perfila como una opción prometedora debido a su actividad emulsificante, amplia disponibilidad, bajo costo y buena aceptación por parte del consumidor. Además, presenta un contenido proteico considerable y propiedades tecnológicas que favorecen su aplicación en sistemas emulsionados. Su incorporación en aderezos permitiría no solo sustituir al huevo, sino también mejorar el valor nutricional del producto final, contribuyendo al desarrollo de alimentos funcionales de origen vegetal.

Asimismo, el uso de proteínas vegetales como agentes emulsificantes permite formular productos con perfiles de ingredientes más simples, reduciendo la necesidad de aditivos sintéticos comúnmente empleados en productos comerciales. Esto se alinea con el concepto de *clean label*, que promueve el uso de ingredientes naturales y fácilmente reconocibles por el consumidor. No obstante, aún existe información limitada sobre el efecto combinado del pH y del tratamiento térmico en las propiedades funcionales de concentrados de proteína de garbanzo, así como en su aplicación en sistemas tipo aderezo formulados con aceites no convencionales como el de aguacate. En este sentido, el estudio de estos factores resulta relevante para optimizar su funcionalidad y contribuir al desarrollo de aderezos veganos con adecuada estabilidad fisicoquímica, calidad nutricional y potencial de aceptación en el mercado.



# 04

## Objetivos



## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

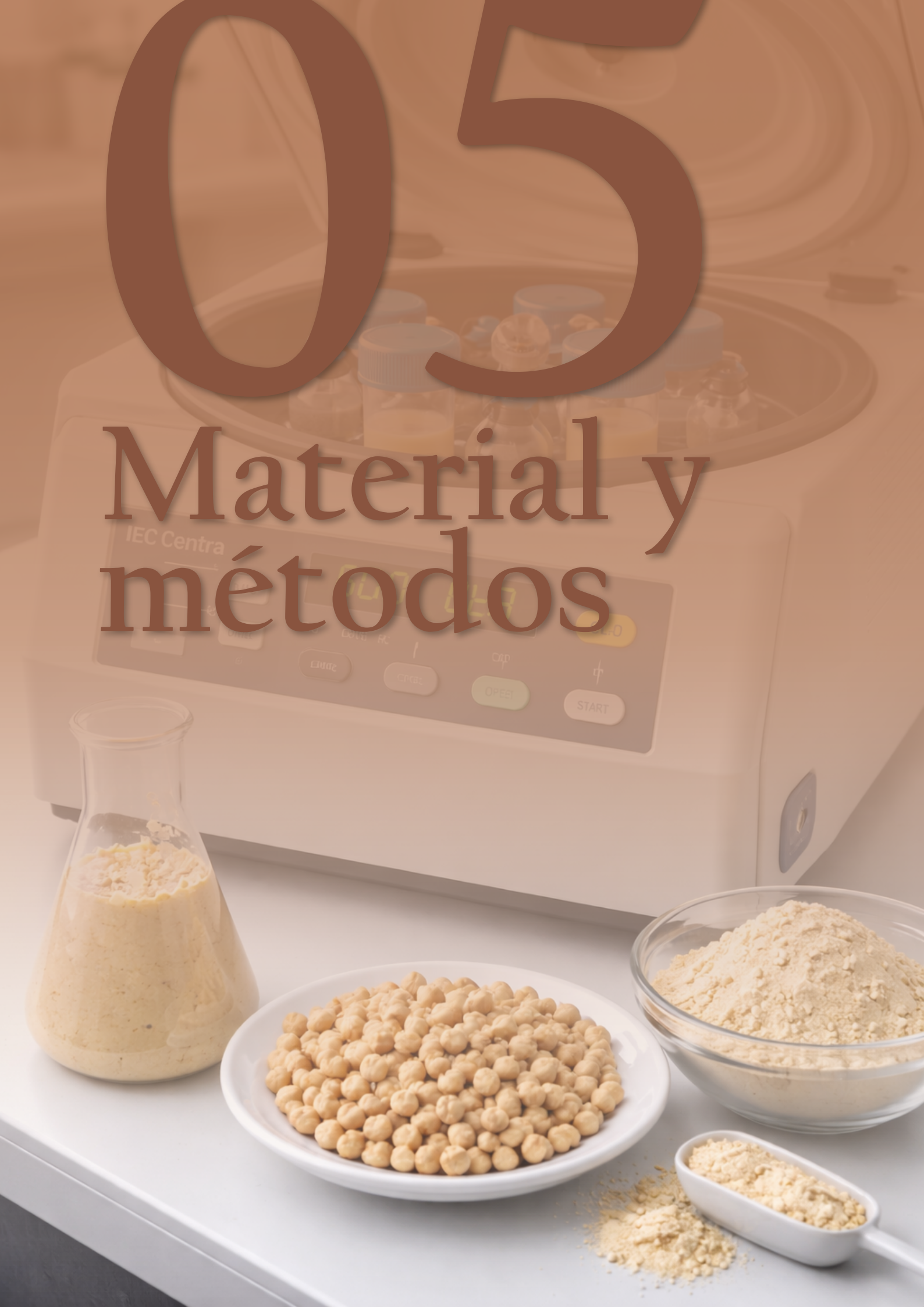
Evaluar el efecto del pH y del tratamiento térmico sobre las propiedades emulsificantes del concentrado de proteína de garbanzo (*Cicer arietinum*) y su desempeño como agente emulsionante en la formulación de un aderezo a base de aceite de aguacate.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Obtener un concentrado de proteína de garbanzo mediante precipitación isoelectrica y solubilización con el fin de disponer de una materia prima con propiedades adecuadas para su uso como agente emulsionante.
2. Analizar la influencia del pH y del tratamiento térmico sobre las propiedades funcionales del concentrado de proteína de garbanzo, mediante un diseño experimental factorial 2×3, con el fin de determinar los efectos principales y sus interacciones.
3. Evaluar las propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo mediante métodos analíticos estandarizados, bajo diferentes condiciones de pH y tratamiento térmico para establecer su potencial de incorporación en sistemas alimentarios tipo emulsión.
4. Formular emulsiones aceite/agua utilizando concentrado de proteína de garbanzo y aceite de aguacate, mediante un proceso de homogenización controlado, con el fin de desarrollar un sistema modelo tipo aderezo.
5. Caracterizar la estabilidad fisicoquímica y el comportamiento coloidal de las emulsiones, mediante análisis de tamaño de partícula, índice de polidispersidad, potencial zeta, reología y estabilidad (Turbiscan Lab®), con el fin de evaluar su desempeño y estabilidad en sistemas tipo emulsión.

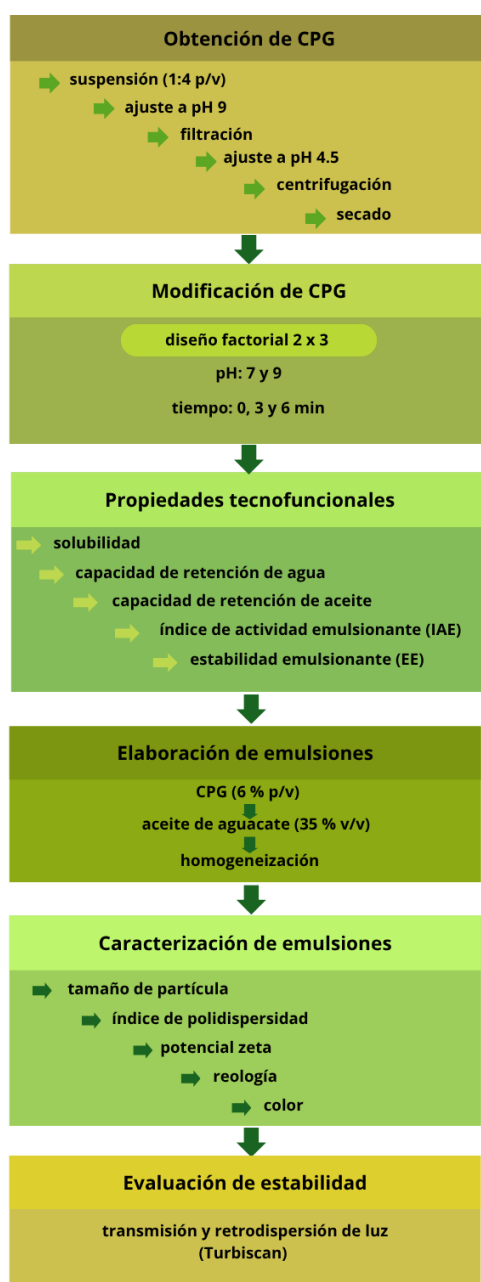
# 05

## Material y métodos



## 5. Material y métodos

En la Figura 4 se presenta el esquema del proceso experimental seguido para evaluar las propiedades emulsificantes del concentrado de proteína de garbanzo (CPG) y su aplicación como agente estabilizante en la formulación de un aderezo.



**Figura 4.** Esquema del proceso experimental para la evaluación de las propiedades emulsificantes del concentrado de proteína de garbanzo y su aplicación en la formulación de una emulsión tipo aderezo.



## 5.1 Concentrado de proteína

### 5.1.1 Extracción por solubilidad y precipitación por punto isoelectrico

La extracción del CPG se realizó a partir de harina de garbanzo comercial (Marca Sango, México). Previamente a su uso, se evaluó su calidad fisicoquímica mediante la determinación de humedad y acidez titulable, para determinar su aptitud como materia prima. El contenido de humedad se determinó por secado gravimétrico en estufa hasta peso constante (AOAC, 2023; método 925.10), mientras que la acidez titulable se determinó mediante titulación ácido-base (AOAC, 2023; método 939.05).

La extracción proteica se llevó a cabo con base en el procedimiento descrito por Kang et al. (2022), con modificaciones en la etapa de separación. Se preparó una suspensión de harina de garbanzo en agua destilada en una relación 1:4 (p/v), la cual se ajustó a pH 9 mediante la adición de NaOH 2 M. La mezcla se mantuvo bajo agitación constante a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C, 500 rpm) durante 2 horas, con el fin de favorecer la solubilización de las proteínas.

A diferencia del método original, la separación de la fracción insoluble se realizó mediante filtración a través de una malla fina, con el objetivo de remover el material particulado no deseado. El filtrado obtenido se consideró como extracto proteico soluble. Posteriormente, el pH del extracto se ajustó a 4.5 mediante la adición de HCl 2 M. En el intervalo de pH 4.0–4.8, la mayoría de las proteínas alcanza su punto isoelectrico, lo que reduce su solubilidad y favorece su precipitación (Boye et al., 2010).

La suspensión se mantuvo en agitación durante 1 hora para asegurar la formación del precipitado proteico (Figura 5). El precipitado se recuperó mediante centrifugación a 5000 rpm durante 30 min; posteriormente, se descartó el sobrenadante y el sedimento se secó en estufa a 50 °C durante 24 horas. El rendimiento del concentrado de proteína se determinó mediante la ecuación 1.

$$\text{Ec. (1) \% Rendimiento} = \frac{\text{g concentrado de proteína}}{\text{g harina}} \times 100$$

El contenido de proteína del concentrado se determinó mediante el método micro-Kjeldahl (AOAC, 2023; método 978.04), mientras que la humedad se determinó en termobalanza (AOAC, 2023; método 925.10).



**Figura 5.** Precipitado de proteína de garbanzo.

## 5.2 Diseño de experimentos factorial 2 x 3

El efecto del pH y del tratamiento térmico sobre las propiedades funcionales del concentrado de proteína de garbanzo se evaluó mediante un diseño factorial  $2 \times 3$ , considerando como factores el pH (7 y 9) y el tiempo de tratamiento térmico a 70 °C (0, 3 y 6 min), lo que dio lugar a un total de seis corridas experimentales, cuyos tratamientos se describen en la Tabla 9.

La selección de estos niveles se basó en estudios previos, en los que se ha reportado que el ajuste a pH alcalino y la aplicación de tratamientos térmicos moderados mejoran la estabilidad coloidal y la interacción de las proteínas con compuestos hidrofóbicos, favoreciendo su desempeño emulsificante (Perović et al., 2022).

Para el tratamiento del CPG, este se resuspendió en agua destilada en una proporción 1:2 (p/v) y el pH se ajustó a 7 o 9 mediante la adición de soluciones de HCl 1 M o NaOH 1 M, según correspondiera. Posteriormente, las dispersiones se sometieron a tratamiento térmico a 70 °C durante 0, 3 o 6 min en baño maría.

Una vez aplicado el tratamiento, las muestras se deshidrataron en estufa a 50 °C hasta alcanzar un contenido de humedad aproximado del 11 %. El concentrado modificado se almacenó en recipientes herméticos y se utilizó posteriormente como materia prima para la evaluación de las propiedades tecno-funcionales y la formulación de emulsiones.

**Tabla 9.** Tratamientos aplicados al concentrado de proteína de garbanzo (CPG)

| Código del concentrado | Tipo de tratamiento aplicado al CPG |
|------------------------|-------------------------------------|
| CPG 7                  | pH 7 sin tratamiento térmico        |
| CPG 7.3                | pH 7; 70 °C por 3 min               |
| CPG 7.6                | pH 7; 70 °C por 6 min               |
| CPG 9                  | pH 9 sin tratamiento térmico        |
| CPG 9.3                | pH 9; 70 °C por 3 min               |
| CPG 9.6                | pH 9; 70 °C por 6 min               |

### 5.3 Propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo

#### 5.3.1 Solubilidad

La solubilidad del concentrado de proteína de garbanzo modificado se determinó mediante el método de Boye et al. (2010) con algunas modificaciones. Se pesaron 10 mg de cada muestra de CPG en tubos de microcentrífuga previamente tarados, a los cuales se adicionó 1 mL de agua destilada. Las dispersiones se agitaron durante 2 min y posteriormente se centrifugaron a 13 000 rpm durante 20 min a 4 °C.

El contenido de proteína soluble en el sobrenadante se determinó mediante el método de Bradford. Para ello, se mezclaron 500 µL del sobrenadante con 500 µL del reactivo *Bradford Protein Assay Reagent* (Sigma-Aldrich, Merck KGaA). La absorbancia se midió a 595 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Thermo Scientific, modelo Evolution 60S, EE. UU.). La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración elaborada con albúmina sérica bovina (BSA) como estándar, en un intervalo de 0 a 10 mg/mL. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como concentración (mg/mL) de proteína soluble.



### 5.3.2 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó mediante una metodología adaptada de Zuñiga-Salcedo et al. (2019) y Choudhary et al. (2021). Se pesaron 100 mg de CPG modificado en tubos de microcentrífuga previamente tarados, a los cuales se adicionó 1 mL de agua destilada. Las muestras se centrifugaron a 13 000 rpm durante 20 min a 4 °C. Posteriormente, se retiró el sobrenadante y se registró la masa final del sedimento. La CRA se calculó por diferencia de peso mediante la ecuación 2.

$$\text{Ec. (2) \% Capacidad de retención de agua} = \frac{\text{sedimento (mg)}}{\text{peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

### 5.3.3 Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite se determinó con base en metodologías reportadas por Zuñiga-Salcedo et al. (2019) y Choudhary et al. (2021), con modificaciones. Se pesaron 100 mg de CPG modificado en tubos de microcentrífuga previamente tarados y se adicionó 1 mL de aceite de girasol. Las dispersiones se agitaron durante 1 min y posteriormente se centrifugaron a 13 000 rpm durante 20 min a temperatura ambiente. El aceite no retenido se retiró cuidadosamente y se registró la masa final del sedimento. La capacidad de retención de aceite se calculó mediante la ecuación 3.

$$\text{Ec. (3) \% Capacidad de retención de aceite} = \frac{\text{Peso del sedimento (mg)}}{\text{peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

### 5.3.4 Índice de actividad emulsionante

El índice de actividad emulsionante (IAE) se determinó mediante el método espectrofotométrico descrito por Pearce y Kinsella (1978), con ajustes en la relación de fases y en las condiciones de homogeneizar. Se preparó una emulsión con 18 mL de agua, 72 mg del CPG tratado y 2 mL de aceite de soya ( $\phi = 0.1$ ), la cual se homogenizó a 13 000 rpm durante 8 min utilizando un homogeneizador Ultra-Turrax T25 (IKA, Alemania).

Se tomaron alícuotas de 0.25 mL desde la parte inferior del sistema y se diluyeron en 4.75 mL de SDS al 0.1 % (relación 1:100). La absorbancia se midió inmediatamente a 500 nm. El IAE se calculó a partir de la ecuación 4.

$$\text{Ec. (4) IAE (m}^2\text{/g)} = \frac{2 \cdot 2.303 \cdot A_0 \cdot N}{10000 \cdot C \cdot \phi}$$

Donde:  $A_0$  es la absorbancia inicial,  $\phi$  fracción volumétrica del aceite en el experimento (0.1),  $C$  es la concentración de proteína (g/mL) y  $N$  es el factor de dilución (100).

### 5.3.5 Estabilidad emulsionante

La estabilidad emulsionante (EE) se determinó siguiendo el método de Pearce y Kinsella (1978), con modificaciones. La evaluación de la estabilidad emulsionante se realizó a partir de la metodología descrita en la sección 5.3.4. Se midió la absorbancia a 500 nm se registró inmediatamente después de la formación de la emulsión y durante intervalos de 15 min durante 1 h. La estabilidad emulsionante se expresó mediante la ecuación 5.

$$\text{Ec. (5) EE (\%)} = \frac{IAE_0 - IAE_t}{IAE_t} \cdot 100$$

Donde:  $IAE_0$  es el valor del índice de actividad emulsionante inicial e  $IAE_t$  es el valor del índice de actividad emulsionante en el intervalo de tiempo.

## 5.4 Elaboración de las emulsiones como base del aderezo

Con base en antecedentes que reportan la influencia del pH y del tratamiento térmico sobre las propiedades funcionales y emulsificantes de los concentrados proteicos (Perović et al., 2022), se evaluó el comportamiento del concentrado de proteína de garbanzo (CPG) bajo diferentes condiciones experimentales.

Las emulsiones se formularon utilizando 6 % (p/v) de concentrado de proteína de garbanzo como agente emulsificante, 35 % (v/v) de aceite de aguacate comercial (Marca Great

Value®, México) como fase oleosa y el porcentaje restante de agua destilada como fase continua. Los códigos de las emulsiones preparadas, de acuerdo con el tratamiento aplicado al CPG, se presentan en la Tabla 10.

La homogeneización se realizó mediante un sistema rotor-estator ULTRA-TURRAX® (IKA, Alemania) a 13 000 rpm durante 8 min a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C).

**Tabla 10.** Tratamientos aplicados al concentrado de proteína de garbanzo para la elaboración de emulsiones

| Código de la emulsión | Tratamiento aplicado al CPG  |
|-----------------------|------------------------------|
| CPG/AG 7              | pH 7 sin tratamiento térmico |
| CPG/AG 7.3            | pH 7; 70 °C por 3 min        |
| CPG/AG 7.6            | pH 7; 70 °C por 6 min        |
| CPG/AG 9              | pH 9 sin tratamiento térmico |
| CPG/AG 9.3            | pH 9; 70 °C por 3 min        |
| CPG/AG 9.6            | pH 9; 70 °C por 6 min        |

## 5.5 Caracterización de las emulsiones

### 5.5.1 Tamaño de partícula (TP) e Índice de Polidispersidad (IPD)

El tamaño de partícula y el índice de polidispersidad se determinaron utilizando un Zetasizer Nano ZS (Malvern Panalytical, Malvern, Inglaterra), con el fin de evaluar el comportamiento de las emulsiones bajo diferentes condiciones. Las mediciones se realizaron en suspensiones diluidas 1:1000 (v/v), de acuerdo con Bernewitz et al. (2011), y cada determinación se llevó a cabo por triplicado.

El análisis del TP se realizó mediante dispersión dinámica de luz (DLS), una técnica no invasiva ampliamente empleada para la caracterización de partículas en suspensión, basada en el movimiento browniano y en la aplicación de la ecuación de Stokes-Einstein. La distribución del tamaño de partícula y los valores de IPD se obtuvieron mediante el software Zetasizer Software versión 7.12 (Monroy-Rodríguez et al., 2021).

### 5.5.2 Potencial zeta ( $\zeta$ )

El potencial zeta de las muestras se determinó utilizando un analizador de tamaño de partícula Zetasizer Nano ZS (Malvern Panalytical, Malvern, Inglaterra). Para evitar efectos de dispersión múltiple, las muestras se diluyeron en agua desionizada en una proporción 1:100 (v/v), de acuerdo con lo reportado por Liu y Wang (2021).

Posteriormente, cada muestra se equilibró a 25 °C durante 120 s y se realizaron mediciones consecutivas para cada condición experimental.

### 5.5.3 Reología

Las mediciones reológicas de las muestras se realizaron en un reómetro Discovery HR-3 (TA Instruments, USA), utilizando una geometría de placa-placa de acero inoxidable de 60 mm de diámetro y una separación de 47  $\mu\text{m}$ , a 25 °C. La viscosidad aparente en función de la velocidad de corte se determinó mediante curvas de flujo en un rango de 0-300  $\text{s}^{-1}$ , aplicando ciclos ascendentes y descendentes para minimizar posibles efectos tixotrópicos. El comportamiento viscoelástico se evaluó mediante ensayos oscilatorios de pequeña amplitud. Se realizó un barrido de esfuerzo (0.01-100 Pa, 1 Hz) para determinar la región viscoelástica lineal (LVR). Las mediciones se efectuaron por triplicado para cada condición de la muestra (Grossi et al., 2022).

### 5.5.4 Color

El color de las emulsiones se evaluó en el espacio de color CIELAB mediante los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , donde  $L^*$  representa la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco),  $a^*$  indica la variación del verde (–) al rojo (+) y  $b^*$  del azul (–) al amarillo (+) (Xu et al., 2017). Las mediciones se realizaron por triplicado utilizando un colorímetro WR-10QC (FRU, China).

## **5.6 Cinéticas de estabilidad de las emulsiones**

### **5.6.1. Transmisión y retrodispersión de luz**

La estabilidad física de las emulsiones se evaluó mediante un analizador Turbiscan Lab® (Formulaction, Toulouse, Francia), con base en la metodología descrita por Gmach et al. (2022), con modificaciones en el tiempo de monitoreo.

Las emulsiones se colocaron en celdas cilíndricas de vidrio y se analizaron a 25 °C mediante escaneos verticales periódicos, con el fin de registrar cambios en la transmisión y retrodispersión de luz asociados a fenómenos de desestabilización como cremado, sedimentación o floculación.

El monitoreo se realizó durante 5 h, con intervalos de medición cada 15 min. A partir de estos datos se calculó el índice de estabilidad Turbiscan Lab® (TSI), en el cual valores altos indican mayor inestabilidad y heterogeneidad del sistema, mientras que valores bajos se asocian con emulsiones más homogéneas y estables.

## **5.7 Análisis estadístico**

Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como promedio  $\pm$  desviación estándar. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con el fin de evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando se detectaron diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para la separación de medias.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software Minitab® versión 16.0 (Minitab Inc., State College, PA, EE. UU.)

# 06

## Resultados y discusión





## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Análisis de calidad de harina de garbanzo y obtención de concentrado proteico

En las pruebas de calidad de la harina de garbanzo, el contenido de humedad fue de  $8.8 \pm 0.4$  %. La acidez titulable, expresada como ácido acético, fue de 0.10 %. Este valor se encuentra dentro del rango reportado para harina de garbanzo en buen estado (0.1–1 %), el cual se asocia con un bajo grado de deterioro lipídico y, por ende, con una adecuada vida de anaquel (Cabrera-Ramírez et al., 2021). En conjunto, los resultados de humedad y acidez indican que la harina de garbanzo era apta para su consumo y procesamiento.

A partir de esta materia prima se obtuvo un rendimiento de concentrado proteico de  $62.5 \pm 2.5$  %, valor comparable con lo reportado por González-Feliz et al. (2023), quienes registraron un rendimiento máximo de 60.99 %. Este parámetro está influenciado principalmente por el contenido inicial de proteína en la materia prima.

En la Figura 6 se muestra el concentrado de proteína de garbanzo obtenido, el cual presentó una textura más fina en comparación con la harina original. El contenido de proteína fue de  $64.5 \pm 1.3$  % en base húmeda, con una humedad de  $11.6 \pm 0.42$  %. Al expresarse en base seca, el contenido proteico fue de  $73.0 \pm 1.8$  %, valor característico de un concentrado proteico de legumbres (Jaimes et al., 2014).



**Figura 6.** Concentrado de proteína de garbanzo.

## 6.2 Evaluación de los cambios en las propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo por efecto del pH y tratamiento térmico

En la Tabla 11 se presentan las propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo evaluadas bajo diferentes condiciones de pH y tratamiento térmico, mediante un diseño factorial 2 x 3. El análisis de estas propiedades es relevante, ya que permite estimar la facilidad de incorporación de la proteína en sistemas alimentarios, así como su desempeño funcional y su comportamiento durante el procesamiento.

**Tabla 11.** Propiedades tecno-funcionales del concentrado de proteína de garbanzo por efecto del pH y tratamiento térmico.

| Muestra        | Solubilidad (mg/mL)      | Capacidad de retención de agua CRA (%) | Capacidad de retención de aceite OHC (%) | Índice de actividad emulsionante IAE (m <sup>2</sup> /g) | Estabilidad emulsionante a 30 minutos, EE (%) |
|----------------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>CPG 7</b>   | 2.12 ± 0.06 <sup>b</sup> | 320.40 ± 9.25 <sup>cd</sup>            | 233.05 ± 11.44 <sup>a</sup>              | 33.94 ± 1.28 <sup>a</sup>                                | 88.45 ± 6.37 <sup>ab</sup>                    |
| <b>CPG 7.3</b> | 1.38 ± 0.53 <sup>b</sup> | 330.4 ± 32.73 <sup>bcd</sup>           | 159.93 ± 12.48 <sup>ab</sup>             | 26.82 ± 5.28 <sup>bc</sup>                               | 52.66 ± 15.46 <sup>c</sup>                    |
| <b>CPG 7.6</b> | 1.20 ± 0.55 <sup>b</sup> | 394.34 ± 0.83 <sup>ab</sup>            | 155.4 ± 20.9 <sup>bc</sup>               | 29.25 ± 0.64 <sup>ab</sup>                               | 93.68 ± 4.46 <sup>a</sup>                     |
| <b>CPG 9</b>   | 3.93 ± 0.62 <sup>a</sup> | 287.7 ± 49.9 <sup>d</sup>              | 167.0 ± 50.6 <sup>ab</sup>               | 18.38 ± 2.18 <sup>d</sup>                                | 70.72 ± 6.11 <sup>bc</sup>                    |
| <b>CPG 9.3</b> | 2.10 ± 0.18 <sup>b</sup> | 406.43 ± 17.84 <sup>a</sup>            | 82 ± 30.3 <sup>c</sup>                   | 24.77 ± 0.26 <sup>bcd</sup>                              | 104.67 ± 3.66 <sup>a</sup>                    |
| <b>CPG 9.6</b> | 2.24 ± 1.02 <sup>b</sup> | 384.43 ± 18.2 <sup>abc</sup>           | 158.1 ± 20.54 <sup>abc</sup>             | 20.55 ± 0.45 <sup>cd</sup>                               | 90.95 ± 0.51 <sup>ab</sup>                    |

Los resultados se expresaron como promedio ± desviación estándar (n = 3). Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p < 0.05). \*OHC (*Oil Holding Capacity*).

### 6.2.1 Solubilidad

La solubilidad proteica se define como la capacidad de las proteínas para dispersarse de manera uniforme en un medio acuoso, formando soluciones o suspensiones estables (Vihinen, 2020). En la Tabla 11 se presentan los valores de solubilidad del concentrado de proteína de garbanzo evaluados a diferentes condiciones de pH y tratamiento térmico.

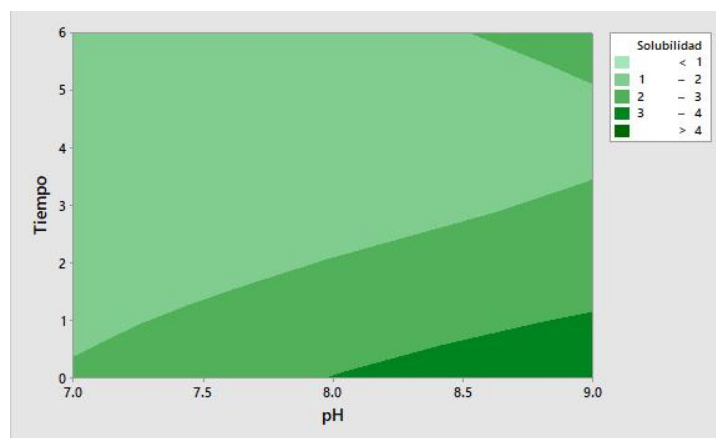
Los resultados mostraron que a pH 7 no se observaron diferencias significativas (p > 0.05) entre tratamientos, mientras que en condiciones alcalinas (pH 9) se detectaron diferencias significativas (p < 0.05), así como un incremento en los valores de solubilidad. Este

comportamiento se atribuye a que, en condiciones alcalinas, el sistema se encuentra más alejado del punto isoeléctrico de la proteína (pH 4-5), donde la solubilidad suele ser mínima.

El análisis estadístico indicó que el pH fue el factor con mayor efecto sobre la solubilidad, mientras que el tratamiento térmico no presentó una influencia significativa. Este resultado sugiere que la variación en la carga superficial de las proteínas inducida por el pH desempeña un papel determinante en su dispersión en medio acuoso. En valores cercanos al punto isoeléctrico, las proteínas tienden a agregarse y precipitar, lo que disminuyendo su solubilidad; en contraste, a pH alejados de este valor aumentan las repulsiones electrostáticas entre moléculas, favoreciendo su dispersión y estabilidad coloidal (Lam et al., 2018).

Desde el punto de vista tecnológico, una menor solubilidad en rangos cercanos al punto isoeléctrico (medio ácido) puede limitar la aplicación de la proteína de garbanzo en ciertos sistemas alimentarios. Por el contrario, la mayor solubilidad observada en medio alcalino favorece su incorporación en sistemas como emulsiones y bebidas vegetales. Estos resultados coinciden con lo reportado por Boye et al. (2010) y Ghribi et al. (2015), quienes señalan que la solubilidad de las proteínas de legumbres es mínima alrededor de su punto isoeléctrico y aumenta en condiciones alcalinas. No obstante, tratamientos térmicos severos pueden inducir desnaturalización y agregación proteica, lo que reduce la solubilidad (Papalamprou et al., 2010).

La Figura 7 muestra la gráfica de contorno de solubilidad, donde se observa una tendencia de incremento conforme aumenta el pH y, en menor medida, el tiempo de tratamiento térmico. Las zonas de mayor respuesta se localizan en condiciones más alcalinas, lo que indica una mayor dispersión y solubilización de las proteínas bajo estas condiciones experimentales.



**Figura 7.** Gráfica de contorno de solubilidad.

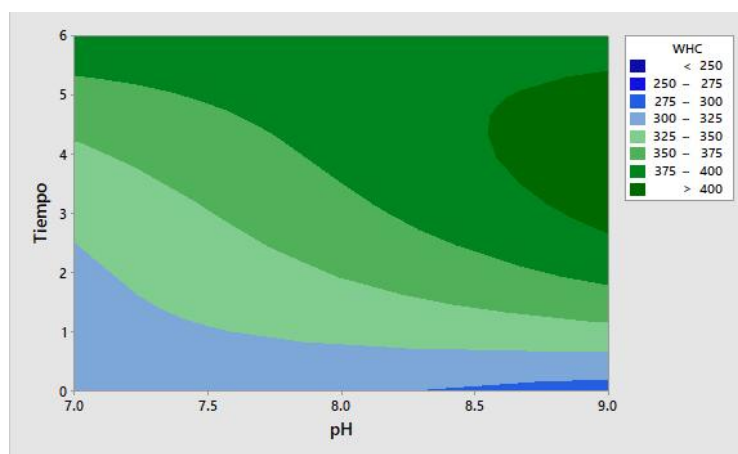
### 6.2.2 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua refleja la interacción de la proteína con el agua y constituye un parámetro clave que influye en la textura, estabilidad y aceptación sensorial de los productos alimentarios (Kazemi-Taskooh & Varidi, 2023). En general, la CRA del concentrado de proteína de garbanzo mostró un comportamiento dependiente tanto del pH como del tratamiento térmico aplicado. En la Tabla 11 se muestran los valores de capacidad de retención de agua (CRA) a pH 7 y 9 bajo distintos tratamientos térmicos. A pH 7, la CRA aumentó significativamente ( $p < 0.05$ ) a mayor tiempo de tratamiento térmico. En cambio, a pH 9 sí se observó un efecto conjunto del pH y el tratamiento térmico, con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la muestra sin calentamiento y la tratada por 3 minutos. Esto indica que en medio alcalino el calor aumenta la CRA, aunque este efecto se estabiliza y no mejora con tiempos mayores.

Este aumento sugiere que el ajuste de pH y la aplicación de un tratamiento térmico controlado favorecen la desnaturalización parcial de las proteínas, lo que conlleva a la exposición de grupos polares capaces de interactuar con moléculas de agua. Como consecuencia, se optimizan las propiedades funcionales del concentrado proteico, incrementando su potencial para mejorar la estabilidad y el rendimiento de sistemas emulsionados cuando se emplea como ingrediente funcional.

Asimismo, se observó una tendencia creciente de la CRA con el incremento del tiempo de tratamiento térmico en ambos valores de pH, alcanzándose los valores más altos tras 6 min de calentamiento. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Papalamprou et al. (2010), quienes asociaron el aumento de la CRA con la apertura estructural de aislados de proteína de garbanzo. Adicionalmente, se ha documentado que la CRA depende tanto del pH como de los tratamientos aplicados durante la obtención del aislado; a pH alejados del punto isoeléctrico (4.5–5.0), las proteínas presentan mayor carga neta y, por ende, una mayor capacidad para atraer y retener agua (Onder et al., 2022), siempre que no ocurra una agregación excesiva.

En la Figura 8 se evidencia un efecto combinado positivo del pH y del tratamiento térmico sobre la CRA, lo que sugiere una mayor exposición de grupos hidrofílicos y una interacción más eficiente con el agua, favoreciendo la funcionalidad del concentrado de proteína de garbanzo en aplicaciones alimentarias.



**Figura 8.** Gráfica de contorno de capacidad de retención de agua.

### 6.2.3 Capacidad de retención de aceite

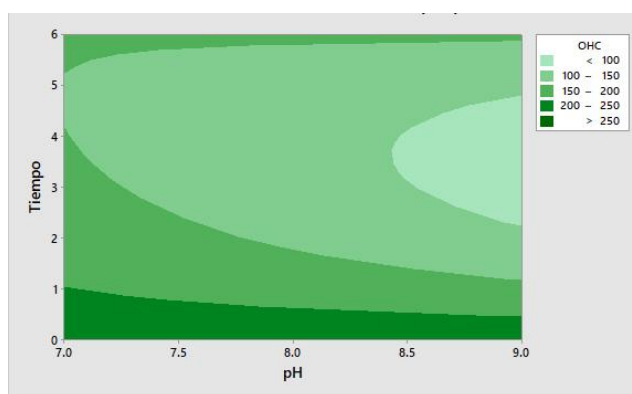
La capacidad de retención de aceite (OHC, *Oil Holding Capacity*) es una propiedad funcional relevante en matrices alimentarias con contenido lipídico, ya que permite mantener el aceite dentro de la estructura del producto, evitando su separación y contribuyendo a las características organolépticas y estructurales de los alimentos (Ma et

al., 2022). En la Tabla 11 se presentan los valores de OHC del concentrado de proteína de garbanzo bajo las diferentes condiciones de pH y tratamiento térmico evaluadas.

El análisis estadístico mostró una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) de la OHC en las muestras sometidas a calentamiento, particularmente en condiciones alcalinas (pH 9). En contraste, la muestra CPG 7 presentó la mayor capacidad de retención de aceite, sin diferencias significativas respecto a algunos tratamientos ( $p > 0.05$ ). Estos resultados sugieren que el pH ejerce una influencia importante sobre esta propiedad, mientras que el tratamiento térmico tiende a reducirla conforme se incrementa el tiempo de exposición.

Desde el punto de vista estructural, a pH cercano a la neutralidad las proteínas conservan un equilibrio entre regiones polares e hidrofóbicas, lo que favorece la interacción con moléculas lipídicas. Sin embargo, la aplicación de calor puede inducir desnaturalización y agregación proteica, provocando reordenamientos estructurales que disminuyen la disponibilidad de sitios hidrofóbicos capaces de retener aceite. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Zuñiga-Salcedo et al. (2019), quienes observaron durante un tratamiento ultrasónico que la modificación estructural de proteínas puede reducir la exposición de regiones hidrofóbicas accesibles, disminuyendo la OHC.

La Figura 9 ilustra esta tendencia, evidenciando que la reducción de la capacidad de retención de aceite se relaciona con cambios estructurales inducidos por el tratamiento térmico, lo cual puede limitar su aplicación en formulaciones donde se requiere una alta afinidad por la fase lipídica.



**Figura 9.** Gráfica de contorno de capacidad de retención de aceite.



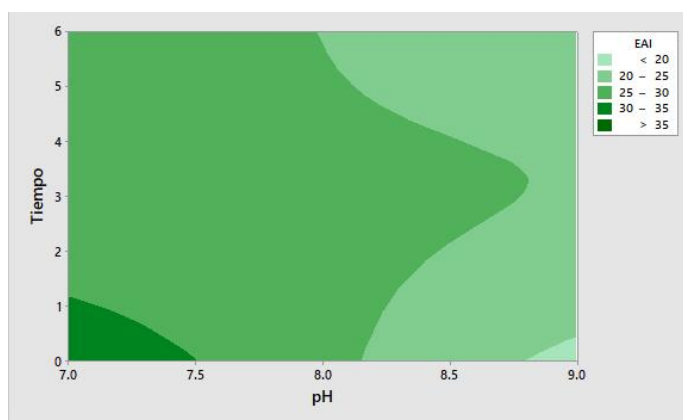
#### 6.2.4 Índice de actividad emulsionante

La actividad emulsionante, expresada como Índice de Actividad Emulsionante (IAE), es una propiedad funcional que describe la actividad de la proteína para adsorberse en la interfaz agua-aceite y favorecer la formación de emulsiones estables entre fases inmiscibles (Bessada et al., 2019). De manera general, los resultados indican que no es indispensable aplicar un tratamiento térmico para obtener una alta actividad emulsionante, ya que algunas de las mejores respuestas se observaron en condiciones sin calentamiento o con tiempos moderados.

De acuerdo con los valores presentados en la Tabla 11, el comportamiento del IAE mostró una marcada influencia del pH. A pH 7 sin tratamiento térmico (CPG 7) se registró uno de los valores más altos de actividad emulsionante ( $33.94 \text{ m}^2/\text{g}$ ), mientras que a pH 9 sin calentamiento (CPG 9) se obtuvo el valor más bajo ( $18.38 \text{ m}^2/\text{g}$ ), evidenciando una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en condiciones alcalinas iniciales. Sin embargo, al aplicar un tratamiento térmico moderado a pH 9, particularmente durante 3 min (CPG 9.3), el IAE aumentó hasta  $24.77 \text{ m}^2/\text{g}$ , lo que sugiere que el calentamiento controlado puede favorecer la exposición de grupos hidrofóbicos y mejorar parcialmente la funcionalidad interfacial; no obstante, estos valores permanecen por debajo de los obtenidos a pH neutro.

Desde el punto de vista estructural, a pH 7 las proteínas presentan una conformación más flexible y un balance adecuado entre regiones hidrofílicas e hidrofóbicas, lo que favorece su adsorción en la interfaz aceite-agua, su despliegue y la formación de una película cohesiva alrededor de las gotas de aceite mediante interacciones intermoleculares (Damodaran, 2005). En contraste, en condiciones alcalinas pueden generarse cambios conformacionales más intensos que, al combinarse con calentamientos prolongados, promueven la agregación proteica y reducen la movilidad molecular, limitando su capacidad de recubrimiento interfacial. Este comportamiento coincide con lo reportado por Ladjal-Ettoumi et al. (2016), quienes señalaron que tratamientos térmicos moderados pueden mejorar la emulsificación, mientras que exposiciones más severas tienden a disminuirla debido a fenómenos de desnaturalización y agregación.

La Figura 10 muestra la gráfica de contorno del IAE, donde se observan variaciones graduales en función del pH y del tiempo de calentamiento, con zonas más favorables en condiciones cercanas a la neutralidad y tiempos cortos o intermedios. Esto indica que la actividad emulsionante del concentrado proteico se mantiene relativamente estable dentro del rango evaluado, pero se optimiza cuando se evita el sobrecalentamiento. En conjunto, los resultados confirman que el pH neutro y tratamientos térmicos no prolongados favorecen una mayor actividad emulsionante, lo cual es relevante para su aplicación como agente emulsificante en formulaciones alimentarias.



**Figura 10.** Gráfica de contorno del índice de actividad emulsionante.

### 6.2.5 Estabilidad emulsionante

La estabilidad emulsionante (EE) evalúa la resistencia de una emulsión a la separación de fases a lo largo del tiempo y, por tanto, refleja la capacidad de la proteína para mantener una interfase aceite-agua funcional después de su formación (Cao et al., 2024). Los resultados demostraron que el valor de la EE dependió tanto del pH como del tratamiento térmico aplicado al concentrado proteico.

En la Tabla 11 se presentan los valores de EE, donde se observa una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) asociada principalmente a la aplicación de calor en condiciones ligeramente alcalinas. De manera general, la estabilidad aumentó con el tratamiento térmico en ambos pH; no obstante, la mayor respuesta se registró a pH 9 con 3 min de calentamiento (CPG 9.3), mientras que a pH 7 el valor más alto se obtuvo con 6

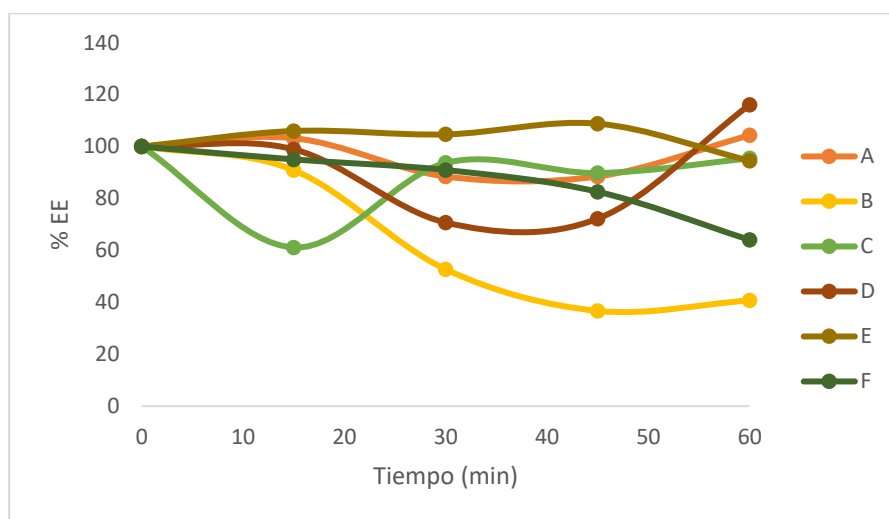
min (CPG 7.6), aunque ligeramente inferior al observado en medio alcalino. En contraste, las muestras sin tratamiento térmico (CPG 7 y CPG 9) mostraron valores menores de estabilidad, lo que indica que un calentamiento moderado favorece la formación de emulsiones más resistentes a la coalescencia.

La Figura 11 complementa estos resultados al mostrar la evolución del porcentaje de estabilidad (% EE) en función del tiempo. Se observa que algunas formulaciones, como CPG 9.3 (E) y CPG 7.6 (C), mantienen valores cercanos o superiores al 100 % durante el tiempo de evaluación, lo que evidencia la formación de una estructura interfacial más robusta y una menor tendencia a la coalescencia. Por el contrario, la formulación CPG 7.3 (B) presenta una disminución marcada de la estabilidad conforme avanza el tiempo, alcanzando los valores más bajos al final del ensayo, lo que sugiere una menor resistencia estructural, posiblemente asociada a una desnaturalización insuficiente o a una reorganización proteica menos favorable.

Asimismo, en la formulación CPG 9 (D) se aprecia un comportamiento variable, con una disminución inicial seguida de un incremento, lo que podría indicar procesos dinámicos de reacomodo interfacial. En el caso de CPG 9.6 (F), aunque el tratamiento térmico fue mayor, la estabilidad disminuye hacia el final de la evaluación, lo que sugiere que un calentamiento excesivo puede inducir agregación proteica y afectar negativamente la cohesión de la película interfacial.

Desde el punto de vista funcional, estos cambios son relevantes en tecnología de alimentos, ya que una mayor EE se asocia con una mejor capacidad de las proteínas para formar películas interfaciales cohesivas, disminuir la coalescencia de las gotas y prolongar la vida útil del producto. A valores de pH alejados del punto isoeléctrico, las proteínas presentan mayor carga neta y repulsión electrostática, lo que mejora su dispersión y su capacidad para estabilizar la interfase. De manera complementaria, el tratamiento térmico moderado induce una desnaturalización parcial que expone regiones hidrofóbicas y grupos reactivos, favoreciendo la interacción con la fase oleosa y el fortalecimiento de la película interfacial; sin embargo, calentamientos excesivos pueden promover agregación y reducir este efecto (Drożdżowska et al., 2020).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Xu et al. (2024), quienes señalaron que las emulsiones de proteína de garbanzo presentan mayor estabilidad en condiciones alcalinas y tras modificaciones que incrementan la exposición de grupos cargados en la interfase. De forma similar, Mańko-Jurkowska y Domian (2024) demostraron que la combinación de tratamiento térmico y fuerza iónica mejora la estabilidad física y reológica de emulsiones estabilizadas con proteína de garbanzo, confirmando que las condiciones de proceso influyen directamente en el desempeño interfacial y en la estabilidad de la emulsión.



**Figura 11.** Índice de estabilidad de la emulsión en función del pH y tratamiento térmico: (A)CPG 7; (B)CPG 7.3; (C)CPG 7.6; (D)CPG 9; (E)CPG 9.3; (F)CPG 9.6.

### 6.3 Caracterización de las emulsiones

En la Tabla 12 se presentan las propiedades emulsionantes del concentrado de proteína de garbanzo evaluadas bajo diferentes condiciones de pH y tratamiento térmico. Se analizaron parámetros relacionados con la estabilidad y las características coloidales de las emulsiones, con el propósito de determinar el efecto de las condiciones de procesamiento sobre su comportamiento fisicoquímico.

**Tabla 12.** Propiedades emulsionantes del concentrado de proteína de garbanzo por efecto del pH y tratamiento térmico.

| Muestra           | TP (nm)                          | IPD                          | ( $\zeta$ ) (mV)                | IET                           |
|-------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| <b>CPG/AG 7</b>   | 1095.93 $\pm$ 60.6 <sup>cd</sup> | 0.64 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup> | 31.16 $\pm$ 0.73 <sup>abc</sup> | 19.5 $\pm$ 0.50 <sup>b</sup>  |
| <b>CPG/AG 7.3</b> | 1036.9 $\pm$ 52.1 <sup>d</sup>   | 0.60 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup> | 33.90 $\pm$ 1.87 <sup>ab</sup>  | 21.83 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup> |
| <b>CPG/AG 7.6</b> | 1178.5 $\pm$ 53.5 <sup>c</sup>   | 0.65 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup> | 35.56 $\pm$ 1.52 <sup>a</sup>   | 19.5 $\pm$ 0.50 <sup>b</sup>  |
| <b>CPG/AG 9</b>   | 1406.5 $\pm$ 4.50 <sup>b</sup>   | 0.73 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup> | 22.83 $\pm$ 0.72 <sup>d</sup>   | 19.33 $\pm$ 0.76 <sup>b</sup> |
| <b>CPG/AG 9.3</b> | 1485.5 $\pm$ 53.5 <sup>b</sup>   | 0.95 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup> | 29.93 $\pm$ 2.40 <sup>bc</sup>  | 14.46 $\pm$ 0.45 <sup>c</sup> |
| <b>CPG/AG 9.6</b> | 1773 $\pm$ 10.0 <sup>a</sup>     | 0.98 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup> | 27.2 $\pm$ 3.30 <sup>cd</sup>   | 14.33 $\pm$ 1.25 <sup>c</sup> |

Los resultados se expresaron como promedio  $\pm$  desviación estándar (n = 3). Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p < 0.05). **TP**: Tamaño de partícula; **IPD**: Índice de polidispersidad; ( **$\zeta$** ) : Potencial zeta; **IET**: Índice de estabilidad Turbiscan Lab®.

### 6.3.1Tamaño de partícula (TP) e índice de polidispersidad (IPD)

El tamaño de partícula de las emulsiones fue influenciado significativamente por el pH y el tratamiento térmico (p < 0.05) (Tabla 12). Las emulsiones formuladas a pH 7 presentaron tamaños menores (1036-1178 nm) en comparación con aquellas a pH 9 (1406–1773 nm). La muestra CPG/AG 7.3 mostró el menor TP (1036.9  $\pm$  52.1 nm), mientras que en condiciones alcalinas el tamaño aumentó progresivamente con el calentamiento, alcanzando el valor más alto en CPG/AG 9.6 (1773  $\pm$  10 nm), lo que sugiere una mayor agregación bajo estas condiciones.

Un menor tamaño de partícula favorece la estabilidad del sistema al incrementar el área interfacial disponible para el recubrimiento proteico. A pH 7, las proteínas mantienen una conformación más adecuada para estabilizar gotas de menor tamaño; en contraste, el calentamiento excesivo, particularmente en medio alcalino, promueve la desnaturalización y posterior agregación, lo que se traduce en un aumento del tamaño de partícula (Xu et al., 2024; Singh et al., 2008; Karaca et al., 2011).

Respecto al índice de polidispersidad, no se observaron diferencias significativas (p > 0.05); sin embargo, se identificó una tendencia clara en función del pH. A pH 7, los valores fueron menores (0.60-0.65), indicando una mayor homogeneidad en el tamaño de las gotas, destacando la muestra CPG/AG 7.3 (0.60). En contraste, a pH 9 se registraron

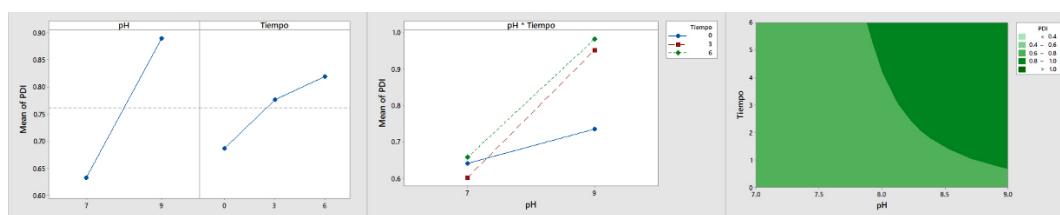
valores más altos (0.73-0.98), especialmente en CPG/AG 9.6, lo que refleja una distribución más heterogénea asociada a procesos de desnaturalización y agregación proteica. Valores elevados de IPD se relacionan con sistemas altamente polidispersos y con la presencia de agregados de distintos tamaños, lo cual incrementa la variabilidad experimental y la desviación estándar entre réplicas. Olsmats et al. (2024) reportaron que las emulsiones estabilizadas con proteína de chícharo presentan gotas y agregados con alto índice de polidispersidad, asociados a distribuciones heterogéneas y mayor variabilidad del sistema. Sin embargo, Glusac et al. (2020) y Ahmed et al. (2024), reportaron que condiciones moderadas de tratamiento térmico podrían generar sistemas coloidales con tamaño de partícula más uniforme.

Las gráficas de interacción y contorno (Figura 12) confirman que la combinación de pH alcalino y mayor tiempo de tratamiento térmico incrementa tanto el TP como el IPD, evidenciando un efecto conjunto de estos factores sobre la microestructura del sistema. En conjunto, los resultados indican que las condiciones de pH 7 y 3 min de calentamiento (CPG/AG 7.3) son las más favorables para obtener emulsiones con menor tamaño de partícula y mayor homogeneidad, lo cual resulta deseable para aplicaciones alimentarias que requieren estabilidad física.

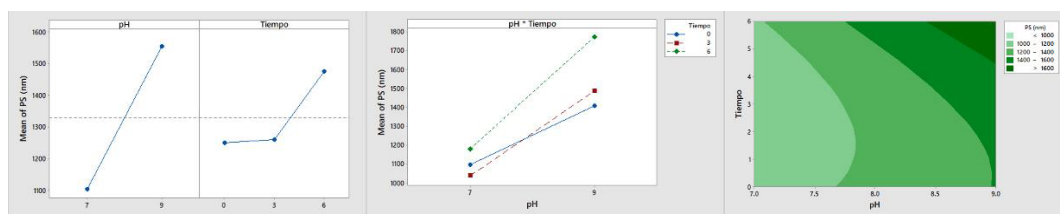
## Parámetro

## Gráficas de interacción y contorno

### TP



### IPD



A

B

C

**Figura 12.** Efecto del pH y del tratamiento térmico sobre el tamaño de partícula (TP) y el índice de polidispersidad (IPD) de las emulsiones (A, gráficas de efectos principales; B, gráficas de interacción y C, gráficas de contorno).



### 6.3.2 Potencial zeta ( $\zeta$ )

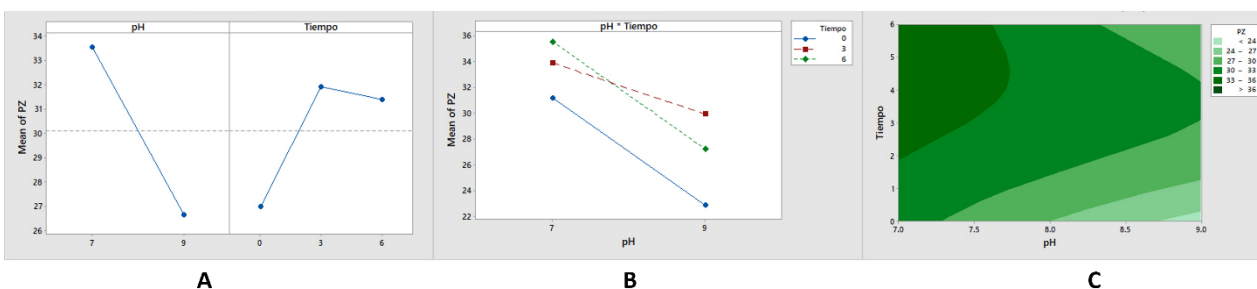
El potencial zeta es un parámetro electrocinético que permite evaluar la estabilidad coloidal de sistemas dispersos. Se define como el potencial eléctrico en el plano de deslizamiento de las partículas o gotas dispersas y refleja la magnitud de la carga eléctrica superficial. En emulsiones aceite-agua, su valor indica el grado de repulsión electrostática entre gotas; valores absolutos elevados de  $|\zeta|$  se asocian con mayor estabilidad, ya que reducen la agregación y la coalescencia (Cao et al., 2023).

En este estudio, el potencial zeta mostró una dependencia significativa del pH y del tratamiento térmico ( $p < 0.05$ ) (Tabla 12). Las emulsiones formuladas a pH 7 presentaron mayores valores de  $|\zeta|$  (31.16-35.56 mV), destacando la muestra CPG/AG 7.6 con el valor más alto ( $35.56 \pm 1.52$  mV), lo que sugiere una mayor repulsión electrostática y, por ende, una mayor estabilidad del sistema. En contraste, la muestra CPG/AG 9 presentó una disminución significativa ( $22.83 \pm 0.72$  mV), indicando una menor estabilidad electrostática bajo esta condición.

Este comportamiento se explica debido a que las proteínas de garbanzo, al encontrarse alejadas de su punto isoelectrico (pH 4.5-5), presentan sus grupos ionizables ( $-\text{COOH}$  y  $-\text{NH}_2$ ) en forma disociada, generando una mayor carga neta negativa en la superficie. Esta carga favorece la repulsión entre gotas recubiertas de proteína, incrementando el valor de  $|\zeta|$  y evitando la coalescencia. Adicionalmente, un tratamiento térmico moderado puede inducir una desnaturalización parcial controlada que expone grupos cargados, contribuyendo a incrementar la estabilidad electrostática. Karaca et al. (2011) reportaron un comportamiento similar en emulsiones estabilizadas con proteína de garbanzo, donde una mayor carga superficial se asoció con una mejor estabilidad. Por su parte, Singh et al. (2008) señalaron que, aunque la funcionalidad mejora lejos del punto isoelectrico, el efecto final depende del equilibrio entre desnaturalización y agregación proteica.

En conjunto, los resultados (Figura 13) indican que condiciones cercanas a pH neutro y tratamientos térmicos moderados favorecen una mayor estabilidad electrostática del

sistema, lo que contribuye a mejorar la consistencia, apariencia y vida útil de emulsiones formuladas con proteína de garbanzo.



**Figura 13.** Efecto del pH y del tratamiento térmico sobre el potencial zeta ( $|\zeta|$ ) de las emulsiones (**A**, gráfica de efectos principales; **B**, gráfica de interacción y **C**, gráfica de contorno).

### 6.3.3 Reología

El comportamiento reológico de las emulsiones estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo se evaluó mediante curvas de flujo obtenidas en un barrido ascendente de esfuerzo cortante, utilizando geometría de placas paralelas. En la Figura 14 se presentan dichas curvas; los valores de viscosidad corresponden a la viscosidad aparente, la cual depende de la velocidad de corte.

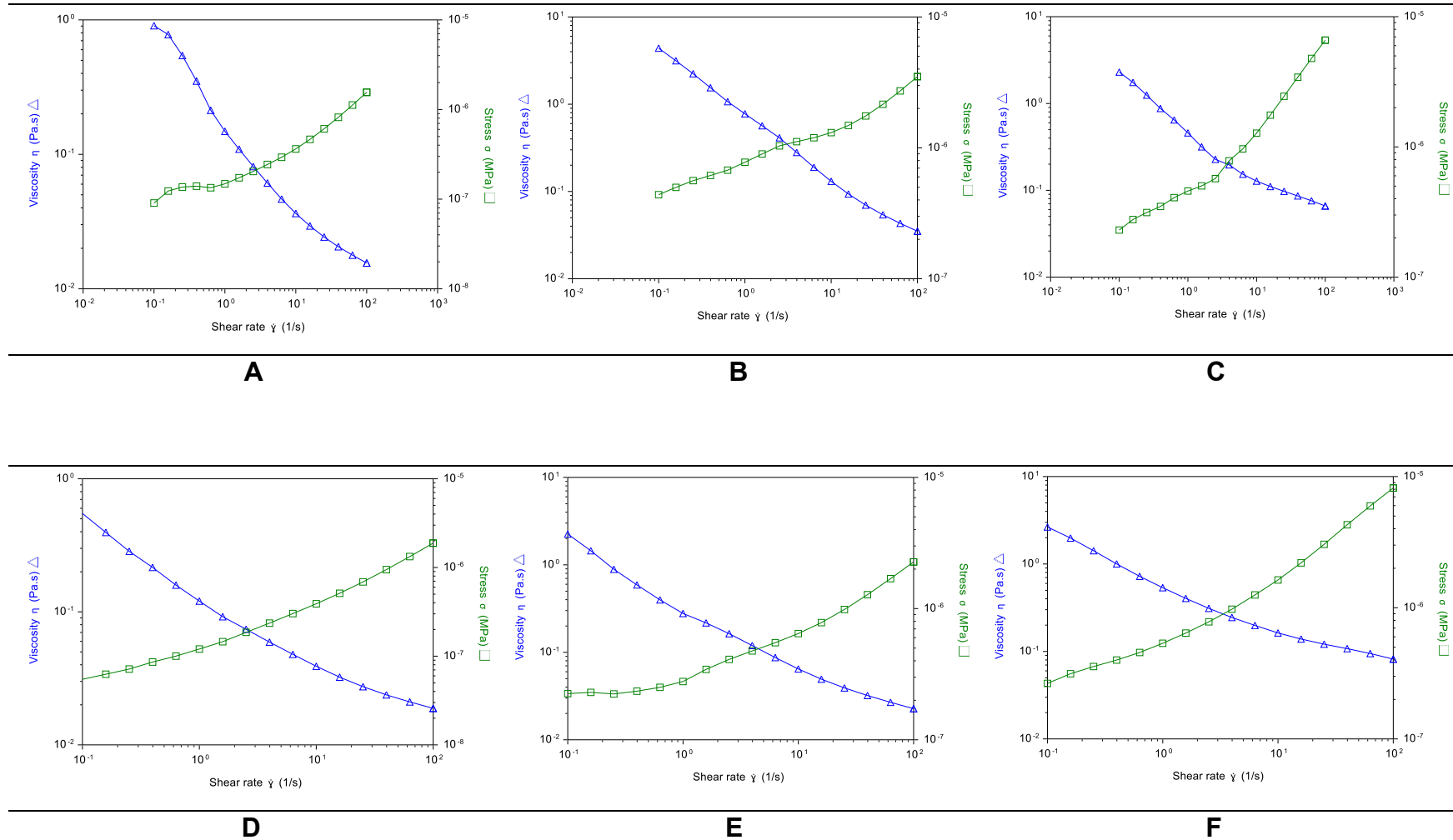
Las curvas muestran que todas las emulsiones presentan una disminución de la viscosidad aparente a medida que aumenta el esfuerzo cortante, acompañada de un incremento progresivo del esfuerzo con la velocidad de deformación. Este comportamiento corresponde a un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico o *shear-thinning*, caracterizado por la reducción de la viscosidad cuando se incrementa la cizalla (Calienni et al., 2023).

El comportamiento pseudoplástico es típico de emulsiones alimentarias, en las que la estructura interna está determinada por la interacción entre las gotas de aceite y las proteínas en la fase continua, la cual se reorganiza bajo esfuerzo mecánico. A bajas velocidades de corte, la red estructural ofrece mayor resistencia al flujo; sin embargo, al

aumentar la cizalla, las interacciones débiles se rompen parcialmente y las gotas se orientan en la dirección del flujo, disminuyendo la resistencia aparente (McClements, 2004).

Este tipo de comportamiento fue reportado por Grossi et al. (2022) en sistemas estabilizados con proteínas de garbanzo y aquafaba. Estos autores observaron un comportamiento no newtoniano pseudoplástico en emulsiones tanto convencionales como de alta fase interna. Aunque en dicho estudio la variable principal fue la fracción de fase dispersa y no el pH, los resultados coinciden en que los sistemas estabilizados con proteínas de garbanzo desarrollan estructuras viscoelásticas responsables del comportamiento *shear-thinning*.

Desde el punto de vista tecnológico, el análisis reológico es fundamental para el diseño y procesamiento de productos alimentarios, ya que permite predecir el comportamiento del sistema durante operaciones como bombeo, mezclado, homogeneizar y envasado. Un comportamiento pseudoplástico es deseable en emulsiones tipo aderezo, pues facilita el flujo durante el procesamiento o consumo, pero mantiene una mayor consistencia en reposo, contribuyendo a la estabilidad física y a la percepción sensorial del producto (McClements, 2004).



**Figura 14.** Curvas de flujo de las emulsiones estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo: (A) CPG/AG 7; (B) CPG/AG 7.3; (C) CPG/AG 7.6; (D) CPG/AG 9; (E) CPG/AG 9.3; (F) CPG/AG 9.

### 6.3.4 Color

Los parámetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de las emulsiones se presentan en la Tabla 13. En términos de luminosidad ( $L^*$ ), los valores oscilaron entre 75.35 y 83.78. La muestra CPG/AG 7 presentó el valor más bajo ( $75.35 \pm 6.51$ ), mientras que los valores más altos se observaron en CPG/AG 7.6 ( $83.27 \pm 1.90$ ) y CPG/AG 9.6 ( $83.78 \pm 0.45$ ), lo que indica emulsiones más claras bajo tratamientos térmicos de mayor duración. Este incremento en luminosidad puede asociarse a una mejor dispersión de las gotas de aceite y a una distribución más uniforme de la fase continua, lo que favorece la reflexión de la luz y una apariencia visual más brillante (McClements, 2004; Xu et al., 2024). Asimismo, se ha reportado que una disminución en el tamaño de partícula y una mayor homogeneidad del sistema incrementan la dispersión de la luz, contribuyendo a valores más altos de  $L^*$  (McClements, 2004).

Respecto al parámetro  $a^*$  (eje rojo/verde), los valores fueron cercanos a cero (0.10-0.97), indicando una tonalidad prácticamente neutra con ligera tendencia hacia el rojo. Las muestras CPG/AG 9.3 ( $0.10 \pm 0.17$ ) y CPG/AG 9.6 ( $0.12 \pm 0.01$ ) presentaron los valores más bajos. Estas variaciones son mínimas y pueden atribuirse a la influencia del aceite de aguacate y a ligeros cambios en la microestructura de la emulsión.

En cuanto al parámetro  $b^*$  (eje amarillo/azul), los valores se mantuvieron relativamente constantes (11.28–11.99), evidenciando una tonalidad amarilla característica del sistema. No se observaron cambios marcados asociados al pH o al tiempo de tratamiento térmico, lo que sugiere que el componente amarillo proviene principalmente del aceite utilizado y se mantiene estable bajo las condiciones evaluadas.

En general, los tratamientos térmicos moderados (3-6 min) favorecieron una mayor luminosidad sin alterar significativamente los tonos rojo y amarillo. Desde el punto de vista tecnológico, una mayor luminosidad y uniformidad del color se asocian con una mejor aceptación visual en productos tipo aderezo (Paakki et al., 2019), además de reflejar una adecuada dispersión de la fase oleosa y estabilidad del sistema.

**Tabla 13.** Parámetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de emulsiones formuladas con concentrado de proteína de garbanzo en función del pH y el tratamiento térmico.

| <b>Muestra</b>    | <b><math>L^*</math><br/>(luminosidad)</b> | <b><math>a^*</math><br/>(eje<br/>rojo/verde)</b> | <b><math>b^*</math><br/>(eje<br/>amarillo/azul)</b> |
|-------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>CPG/AG 7</b>   | 75.35 ± 6.51 <sup>b</sup>                 | 0.97 ± 0.39 <sup>a</sup>                         | 11.78 ± 0.68 <sup>a</sup>                           |
| <b>CPG/AG 7.3</b> | 83.16 ± 2.33 <sup>a</sup>                 | 0.28 ± 0.15 <sup>c</sup>                         | 11.66 ± 0.18 <sup>a</sup>                           |
| <b>CPG/AG 7.6</b> | 83.27 ± 1.90 <sup>a</sup>                 | 0.62 ± 0.17 <sup>b</sup>                         | 11.99 ± 0.25 <sup>a</sup>                           |
| <b>CPG/AG 9</b>   | 81.04 ± 0.44 <sup>a</sup>                 | 0.20 ± 0.03 <sup>c</sup>                         | 11.28 ± 0.49 <sup>b</sup>                           |
| <b>CPG/AG 9.3</b> | 80.57 ± 0.49 <sup>a</sup>                 | 0.10 ± 0.17 <sup>c</sup>                         | 11.44 ± 0.15 <sup>ab</sup>                          |
| <b>CPG/AG 9.6</b> | 83.78 ± 0.45 <sup>a</sup>                 | 0.12 ± 0.01 <sup>c</sup>                         | 11.31 ± 0.02 <sup>b</sup>                           |

Los resultados se expresaron como promedio ± desviación estándar (n = 3). Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p < 0.05).

## 6.4 Cinéticas de estabilidad de las emulsiones

### 6.4.1. Transmisión y retrodispersión de luz (Turbiscan Lab®)

La estabilidad física de las emulsiones se evaluó mediante el índice de estabilidad Turbiscan Lab® (IET), el cual cuantifica los cambios en la transmisión y retrodispersión de luz a lo largo del tiempo, permitiendo detectar fenómenos de desestabilización como cremado, sedimentación, floculación o coalescencia. Un menor valor de IET indica mayor estabilidad del sistema (Villalobos-Espinosa et al., 2022).

Los resultados mostraron que el IET fue influenciado por el pH y el tratamiento térmico durante el almacenamiento (5 h). En general, las emulsiones formuladas a pH 9, particularmente CPG/AG 9.6, presentaron una disminución significativa del IET (p < 0.05), lo que indica menores cambios físicos y, por tanto, mayor estabilidad del sistema coloidal. En contraste, algunas formulaciones a pH 7 mostraron valores superiores de IET, reflejando mayor variación estructural durante el tiempo de análisis (Tabla 12; sección 6.3). Las Figuras 15 y 16 confirman esta tendencia, evidenciando menores variaciones en los perfiles de retrodispersión bajo condiciones alcalinas con tratamiento térmico prolongado.

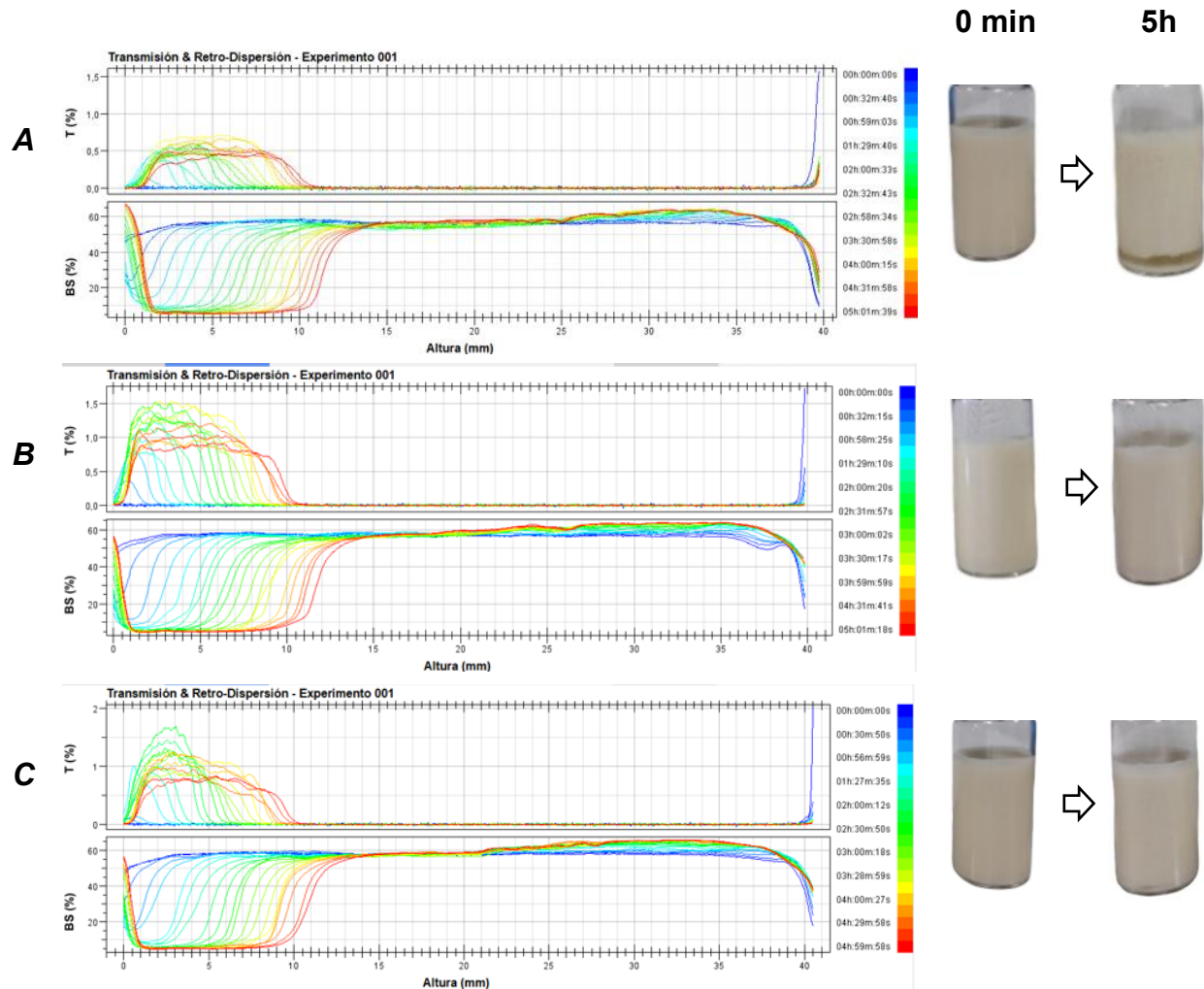
La disminución del IET sugiere que el tratamiento térmico favorece la formación de estructuras interfaciales más resistentes, capaces de retardar los mecanismos de

desestabilización. Desde el punto de vista fisicoquímico, el pH y el calor modifican el grado de desnaturalización, la carga superficial y la conformación proteica. Cuando estas condiciones promueven una adecuada exposición de grupos funcionales y una cobertura eficiente de las gotas de aceite, se incrementan las fuerzas electrostáticas y estéricas, reduciendo la migración y agregación de las partículas dispersas.

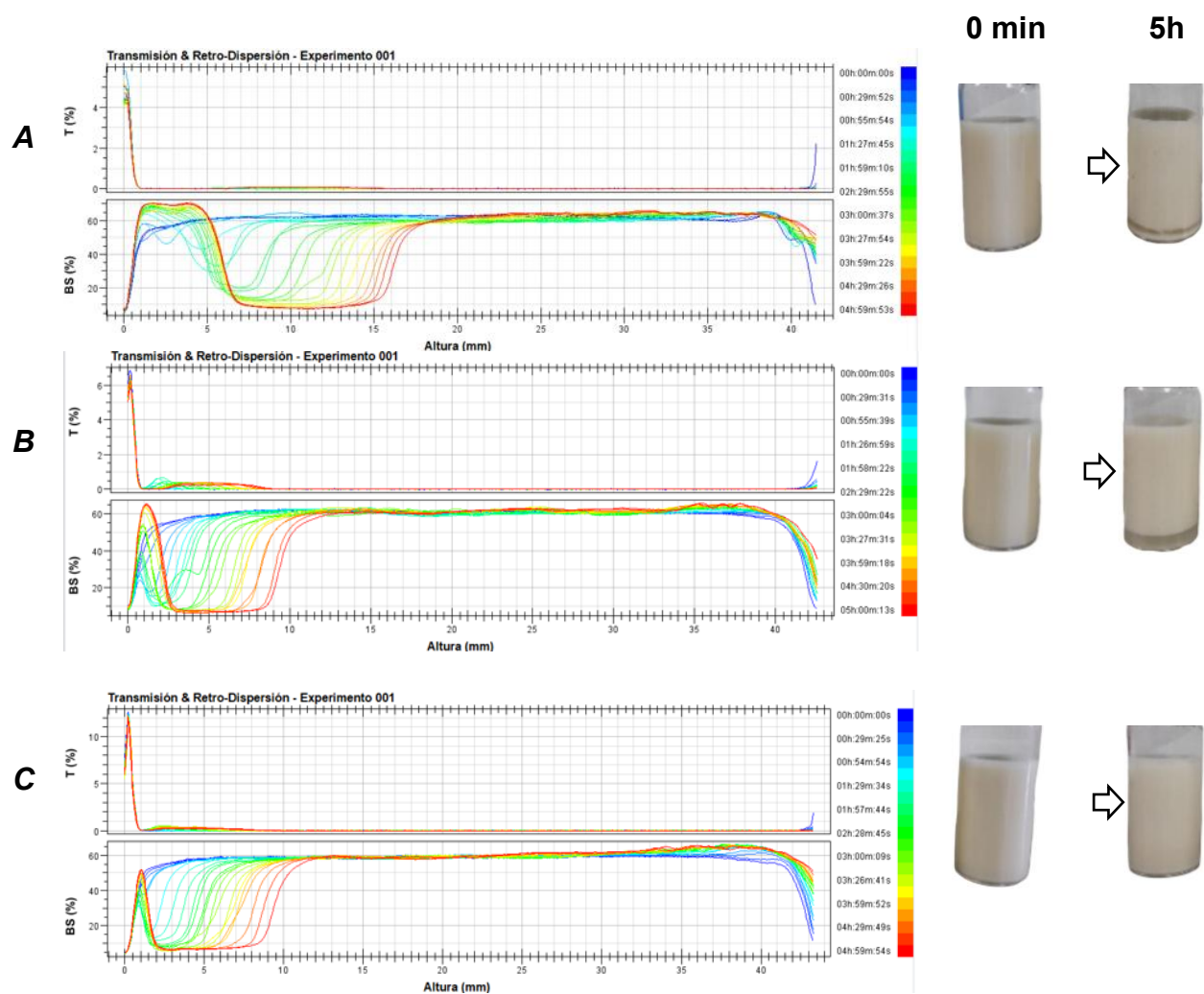
Este comportamiento ha sido reportado en proteínas de legumbres sometidas a tratamientos físicos. Byanju et al. (2020) y Kang et al. (2022) señalaron que la modificación estructural controlada mejora la estabilidad coloidal al favorecer interacciones proteína–proteína y proteína–aceite. De manera similar, Mańko-Jurkowska y Domian (2024) observaron que emulsiones estabilizadas con proteína de garbanzo tratada térmicamente (95 °C, durante 15 min) presentaron mayor estabilidad medida por Turbiscan Lab®, atribuida a la formación de redes proteicas más densas que incrementan la viscosidad y limitan la migración de las gotas.

En conjunto, los resultados confirman que el control del pH y la aplicación de un tratamiento térmico adecuado son factores determinantes para mejorar la estabilidad física de emulsiones formuladas con proteínas vegetales, reduciendo los procesos de cremado y coalescencia y favoreciendo su aplicación en productos tipo aderezo.





**Figura 15.** Cinéticas de retrodispersión y transmisión en función del tiempo de emulsiones de aceite de aguacate estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo a pH 7: A) CPG/AG 7, B) CPG/AG 7.3 y C) CPG/AG 7.6.



**Figura 16.** Cinéticas de retrodispersión y transmisión en función del tiempo de emulsiones de aceite de aguacate estabilizadas con concentrado de proteína de garbanzo a pH 9: A) CPG/AG 9, B) CPG/AG 9.3 y C) CPG/AG 9.6.

# 07

## Conclusión



## 7. Conclusiones

El concentrado de proteína de garbanzo obtenido mediante extracción por solubilidad y precipitación isoeléctrica presenta características adecuadas para su uso como ingrediente funcional en sistemas alimentarios tipo emulsión.

El pH y el tratamiento térmico influyen de manera determinante en las propiedades tecnológicas de la proteína, siendo el pH el factor de mayor impacto. Las condiciones cercanas a la neutralidad favorecen la actividad emulsionante y el comportamiento coloidal del sistema, mientras que un pH ligeramente alcalino combinado con un tratamiento térmico moderado mejora la estabilidad de las emulsiones.

Asimismo, la desnaturalización parcial inducida por el tratamiento térmico resulta favorable para la funcionalidad proteica, siempre que se mantenga un equilibrio que evite la agregación excesiva. Este balance entre desnaturalización y agregación se identifica como un factor clave en la optimización del desempeño de proteínas vegetales en sistemas emulsionados.

En conjunto, los resultados permiten establecer condiciones de procesamiento que favorecen la funcionalidad del concentrado de proteína de garbanzo como agente emulsionante, posicionándolo como una alternativa viable para el desarrollo de emulsiones alimentarias, particularmente en formulaciones tipo aderezo. Este conocimiento contribuye al diseño de alimentos basados en plantas con propiedades funcionales adecuadas, lo cual resulta de gran relevancia en el campo de la tecnología de alimentos y se alinea con las tendencias actuales de consumo hacia productos más sostenibles.



# 08

## Referencias



## 8. Referencias

- Aguilar-Raymundo, V. G., & Vélez-Ruiz, J. F. (2013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 7(2), 25–34.
- Aguilera, Y., Esteban, R. M., Benítez, V., Mollá, E., & Martín-Cabrejas, M. A. (2023). Nutritional composition, bioactive compounds and digestibility of chickpea (*Cicer arietinum* L.) proteins. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1218468. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1218468>
- Ahmed, M., Zhang, Q., & Zhou, Y. (2024). Ultrasound-mediated fabrication of chickpea protein nanoparticles for stabilizing Pickering emulsions. *Food Chemistry*, 437, 137772. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.137772>
- Aldaya, M. M., Ibañez, F. C., Domínguez-Lacueva, P., Murillo-Arbizu, M. T., Rubio-Varas, M., Soret, B., & Beriain, M. J. (2021). Indicators and recommendations for assessing sustainable healthy diets. *Foods*, 10(5), 999.
- Alvarado, K. (2014). *Obtención, caracterización fisicoquímica, caracterización electroforética y digestibilidad del aislado proteico del residuo agroindustrial de Plukenetia volubilis (Sacha inchi)* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María, Perú.
- AOAC International. (2023). *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). AOAC International.
- Aparicio, R., González, D. L. G., & Aparicio-Ruiz, R. (2018). Vegetable oils. En *Food integrity handbook: a guide to food authenticity issues and analytical solutions*. Eurofins. <https://doi.org/10.32741/fihb>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. (2023). AOAC official method 939.05: fat acidity—grains: titrimetric method. En *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). Oxford University Press.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. (2023). AOAC official method 978.04: protein in grains (Kjeldahl method). En *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). Oxford University Press.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. (2023). AOAC official method 925.10: moisture in flour. En *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). Oxford University Press.
- Ávila Miramontes, J. A., Ávila Salazar, J. M., Rivas Santoyo, F. J., & Martínez Heredia, D. (2014). *El cultivo del garbanzo (memorias de maestros)*. Universidad de Sonora. <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20GARBANZO.pdf>

- Baranzini, A. L. R., Villa, M. D. R. F., Hoyos, J. M. B., Gramont, M. I. S., & Rodríguez, R. H. A. (2010). Evaluación de color del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) por métodos instrumentales y sensoriales. *Revista mexicana de agronegocios*, 27, 323–335.
- Bautista Villarreal, M., Báez González, J. G., Gallardo Rivera, C. T., & Aguilera González, C. J. (2022). Diseño de aderezos empleando harinas vegetales. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*, 7, 202–207.
- Begum, N., Khan, Q. U., Liu, L. G., Li, W., Liu, D., & Haq, I. U. (2023). Nutritional composition, health benefits and bio-active compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1218468.
- Bernewitz, R., Guthausen, G., & Schuchmann, H. P. (2011). NMR on emulsions: characterization of liquid dispersed systems. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 49, 93–104. <https://doi.org/10.1002/mrc.282>
- Bessada, S. M., Barreira, J. C., & Oliveira, M. B. P. (2019). Pulses and food security: dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 53–68.
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537–546.
- Byanju, B., Rahman, M. M., Hojilla-Evangelista, M. P., & Lamsal, B. P. (2020). Effect of high-power sonication pretreatment on extraction and some physicochemical properties of proteins from chickpea, kidney bean, and soybean. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, 712–721.
- Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Koelliker, D., & Aguilar-Raymundo, V. G. (2021). Milk solids replacement with chickpea flour in a yogurt system and their impact on physicochemical, rheological, and microstructural properties during storage. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 385–391.
- Calienni, M. N., Martínez, L. M., Izquierdo, M. C., Alonso, S. D. V., & Montanari, J. (2023). Rheological and viscoelastic analysis of hybrid formulations for topical application. *Pharmaceutics*, 15(10), 2392. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15102392>
- Cao, J., Tong, X., Cheng, J., Peng, Z., Yang, S., Cao, X., & Jiang, L. (2023). Impact of pH on the interaction between soy whey protein and gum arabic at oil–water interface: structural, emulsifying, and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 139, 108584. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108584>
- Cao, S., Xiang, F., Li, S., Ma, X., Hu, H., Guo, Q., & Shi, A. (2024). Characteristics of walnut oil and the residual cake prepared using various pretreatment and extraction methods. *LWT*, 206, 116596. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116596>



- Cerrato, P. L. (2000). An olive oil-rich diet affects antihypertensive drug dosages. *Contemporary OB/GYN*, 45(8), 142–142.
- Chang, Y., Alli, I., Konishi, Y., & Ziomek, E. (2011). Characterization of protein fractions from chickpea (*Cicer arietinum* L.) and oat (*Avena sativa* L.) seeds using proteomic techniques. *Food Research International*, 44, 3094–3104.
- Chavan, J. K., Kadam, S. S., Salunkhe, D. K., & Beuchat, L. R. (1987). Biochemistry and technology of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25(2), 107–158. <https://doi.org/10.1080/10408398709527487>
- Cheong, A. M., Tan, K. W., Tan, C. P., & Nyam, K. L. (2016). Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil-in-water Pickering nanoemulsions stabilized by mixture of sodium caseinate, Tween 20 and  $\beta$ -cyclodextrin. *Food Hydrocolloids*, 52, 934–941. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.010>
- Chitra, U., Vimala, V., Singh, U., & Geervani, P. (1995). Variability of phytic acid content and protein digestibility of grain legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 47(2), 163–172. <https://doi.org/10.1007/BF01088349>
- Choudhary, P., & Rawson, A. (2021). Impact of power ultrasound on the quality attributes of curd and its fermentation/gelation kinetics. *Journal of Food Process Engineering*, 44(7), e13698. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13698>
- Codex Alimentarius Commission. (1989). *General standard for vegetable protein products (VPP) for use in foods (CODEX STAN 174-1989)*. FAO/WHO. [https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex\\_Alimentarius/normativa/codex/stan/174-1989.PDF](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/174-1989.PDF)
- Codex Alimentarius Commission. (1999). *Codex standard for named vegetable oils (CODEX STAN 210-1999)*. FAO/WHO. [https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex\\_Alimentarius/normativa/codex/stan/210-1999.PDF](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/210-1999.PDF)
- Cubero, J. I. (1987). Morfología del garbanzo. En M. C. Saxena & K. B. Singh (Eds.), *El garbanzo* (pp. 35–66). CAB International.
- Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. *Journal of Food Science*, 70(3), R54–R66. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07150.x>
- Díaz-de-Marco, E., Aguilar García, J. M., Pérez-Puyana, V. M., Rubio Valle, J. F., & Alonso González, M. (2020). Emulsiones aceite-en-agua basadas en proteínas de garbanzo. En A. M. Beltrán Custodio & M. F. Ángel (Eds.), *La investigación de hoy, el futuro de mañana* (pp. 27–31). Universidad de Sevilla.
- Drożłowska, E., Weronis, M., & Bartkowiak, A. (2020). The influence of thermal hydrolysis process on emulsifying properties of potato protein isolate. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1131–1137. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04116-9>

- Duarte, P. F., Chaves, M. A., Borges, C. D., & Mendonça, C. R. B. (2016). Avocado: characteristics, health benefits and uses. *Ciência Rural*, 46(4), 747–754. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141516>
- Duester, K. C. (2000). Avocados: a look beyond basic nutrition for one of nature's whole foods. *Nutrition Today*. Recuperado de <http://www.findarticles.com>
- Echevarría, A., Triana, A., Rivero, D., Rodríguez, A., & Martínez, B. (2019). Generalidades del cultivo de garbanzo y alternativa biológica para el control de la marchitez. *Cultivos Tropicales*, 40(4).
- Fernández-Quintela, A., Macarulla, M. T., Del Barrio, A. S., & Martínez, J. A. (1997). Composition and functional properties of protein isolates obtained from commercial legumes grown in northern Spain. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(4), 331–341. <https://doi.org/10.1023/A:1007941607705>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.012>
- García Guerreiro, L., & Wahren, J. (2016). Seguridad alimentaria vs. soberanía alimentaria: la cuestión alimentaria y el modelo del agronegocio en la Argentina. *Trabajo y Sociedad*, (26), 327–340.
- Gaur, P. M., Singh, M. K., Samineni, S., Sajja, S. B., Jukanti, A. K., Kamatam, S., et al. (2016). Inheritance of protein content and its relationships with seed size, grain yield and other traits in chickpea. *Euphytica*, 209, 253–260. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1678-2>
- Gaur, P. M., Tripathi, S., Gowda, C. L. L., Ranga Rao, G. V., Sharma, H. C., Pande, S., & Sharma, M. (2010). *Chickpea seed production manual*. ICRISAT.
- Gençdağ, E., Görgüç, A., & Yilmaz, F. M. (2020). Recent advances in plant protein recovery techniques from agro-industrial by-products. *Food Reviews International*, 37, 1–22. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1709203>
- Ghribi, A. M., Gafsi, I. M., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., & Besbes, S. (2015). Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 165, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.021>
- Glusac, J., Ajibola, O., Vukoje, I., & Krstonošić, V. (2020). Transglutaminase modifies the physical stability and digestibility of chickpea protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 103, 105662. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105662>

- Gmach, O., Golda, J., & Kulozik, U. (2022). Freeze–thaw stability of emulsions made with native and enzymatically modified egg yolk fractions. *Food Hydrocolloids*, 123, 107109. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107109>
- González Osuna, M. F. (2020). *Efecto del pretratamiento con pulsos ultrasónicos en la obtención de fracciones peptídicas antioxidantes de proteínas de garbanzo (Cicer arietinum L.)* (Tesis de maestría). Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, México.
- González-Félix, G. K., Luna-Suárez, S., García-Ulloa, M., Martínez-Montaña, E., Barreto-Curiel, F., & Rodríguez-González, H. (2023). Extraction methods and nutritional characterization of protein concentrates obtained from bean, chickpea, and corn discard grains. *Current Research in Food Science*, 7, 100612. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100612>
- Grossi Bovi Karatay, G., Medeiros Theophilo Galvao, A. M., & Dupas Hubinger, M. (2022). Storage stability of conventional and high internal phase emulsions stabilized solely by chickpea aquafaba. *Foods*, 11(11), 1588. <https://doi.org/10.3390/foods11111588>
- Hirdyani, H. (2014). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and value added products: a review. *Indian Journal of Community Health*, 26(Suppl 2), 102–106.
- ICRISAT. (2016). *Chickpea seed production manual*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. [https://oar.icrisat.org/10276/1/ChickpeaManual\\_full.pdf](https://oar.icrisat.org/10276/1/ChickpeaManual_full.pdf)
- Jaimes, J., Restrepo, D., & Acevedo, D. (2014). Preparation and determination of the functional properties of the trupillo protein concentrate (*Prosopis juliflora*). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, (1), 144–152.
- Jeong, H., & Oh, I. (2025). Physicochemical and structural properties of vegan mayonnaise prepared with peanut sprout oil and aquafaba. *Food Chemistry: X*, 27, 102463. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102463>
- Jiménez-Colmenero, F. (2013). Emulsiones múltiples: compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria*, 28(5), 1413–1421. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6670>
- Kajzer, M., & Diowks, A. (2021). The clean label concept: new approaches in gluten-free baking. *Applied Sciences*, 11(13), 6129. <https://doi.org/10.3390/app11136129>
- Kaltsa, O., Yanniotis, S., Polissiou, M., & Mandala, I. (2018). Stability, physical properties and acceptance of salad dressings containing saffron (*Crocus sativus*) or pomegranate juice powder as affected by high shear (HS) and ultrasonication (US) process. *LWT*, 97, 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.042>

- Kang, S., Zhang, J., Guo, X., Lei, Y., & Yang, M. (2022). Effects of ultrasonic treatment on the structure, functional properties of chickpea protein isolate and its in vitro digestibility. *Foods*, 11(6), 880. <https://doi.org/10.3390/foods11060880>
- Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, 44(9), 2742–2750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>
- Karthik, P., & Anandharamakrishnan, C. (2016). Enhancing omega-3 fatty acids nanoemulsion stability and in vitro digestibility through emulsifiers. *Journal of Food Engineering*, 187, 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.021>
- Kazemi-Taskooh, Z., & Varidi, M. (2023). How can plant-based protein–polysaccharide interactions affect the properties of binary hydrogels? (A review). *Food & Function*, 14(13), 5891–5909. <https://doi.org/10.1039/D3FO00632A>
- Kolpakova, V. V., Ulanova, R. V., Kulikov, D. S., Gulakova, V. A., Semenov, G. V., & Shevjakova, L. V. (2022). Pea and chickpea protein concentrates: quality indicators. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 52(4), 649–664. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/675ac2560ce2cede71d06535>
- Koul, B., Sharma, K., Sehgal, V., Yadav, D., Mishra, M., & Bharadwaj, C. (2022). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) biology and biotechnology: from domestication to biofortification and biopharming. *Plants*, 11(21), 2926. <https://doi.org/10.3390/plants11212926>
- Ladjal-Ettoumi, Y., Boudries, H., Chibane, M., & Romero, A. (2016). Pea, chickpea and lentil protein isolates: physicochemical characterization and emulsifying properties. *Food Biophysics*, 11, 43–51. <https://doi.org/10.1007/s11483-015-9423-3>
- Lam, A. C. Y., Karaca, A. C., Tyler, R. T., & Nickerson, M. T. (2018). Pea protein isolates: structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 34(2), 126–147. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>
- Lane, K. E., Li, W., Smith, C. J., & Derbyshire, E. J. (2016). The development of vegetarian omega-3 oil in water nanoemulsions suitable for integration into functional food products. *Journal of Functional Foods*, 23, 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.038>
- Lavaselli, S., Mangiameli, J. I., & Riquelme, B. D. (2020). Caracterización de cristales líquidos con miconazol en sistemas bifásicos por microscopía de polarización. *Ars Pharmaceutica*, 61(3), 155–162. <https://doi.org/10.30827/ars.v61i3.14632>
- Liu, C., & Wang, X. (2021). The physicochemical properties and stability of flaxseed oil emulsions: effects of emulsification methods and the ratio of soybean protein isolate

- to soy lecithin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(15), 6407–6416. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11339>
- Lu, W. C., Huang, D. W., Wang, C. C. R., Yeh, C. H., Tsai, J. C., Huang, Y. T., & Li, P. H. (2017). Preparation, characterization, and antimicrobial activity of nanoemulsions incorporating citral essential oil. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(4), 774–782. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.12.001>
- Lui, D. (2009). *Emulsiones*. Departamento Académico de Farmacotecnia y Administración Farmacéutica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado de [http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/EURacMed/TrabSalud/ReuTec/RTM\\_Marzo\\_2009/5\\_DL\\_EMULSIONES.pdf](http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/EURacMed/TrabSalud/ReuTec/RTM_Marzo_2009/5_DL_EMULSIONES.pdf)
- Ma, K. K., Greis, M., Lu, J., Nolden, A. A., McClements, D. J., & Kinchla, A. J. (2022). Functional performance of plant proteins. *Foods*, 11(4), 594. <https://doi.org/10.3390/foods11040594>
- Ma, Y., Zhang, J., He, J., Xu, Y., & Guo, X. (2023). Effects of high-pressure homogenization on the physicochemical, foaming, and emulsifying properties of chickpea protein. *Food Research International*, 170, 112986. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112986>
- Mańko-Jurkowska, D., & Domian, E. (2024). The effect of heat and salt treatment on the stability and rheological properties of chickpea protein-stabilized emulsions. *Applied Sciences*, 14(7), 2698. <https://doi.org/10.3390/app14072698>
- McClements, D. J. (2004). *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. CRC Press.
- Merga, B., & Haji, J. (2019). Economic importance of chickpea: production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1615718. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1615718>
- Monroy-Rodríguez, I., Gutiérrez-López, G. F., Hernández-Sánchez, H., López-Hernández, R. E., Mazón, M. C., Dorantes-Álvarez, L., & Alamilla-Beltrán, L. (2021). Surface roughness and textural image analysis, particle size and stability of microparticles obtained by microfluidization of soy protein isolate aggregates suspensions. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 20(2), 787–805. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2104>
- Mora-Valverde, D. (2010). Usos de la morera (*Morus alba*) en la alimentación del conejo: el rol de la fibra y la proteína en el tracto digestivo. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 357–366.
- Muñoz, J., Alfaro, M. D., & Zapata, I. (2007). Avances en la formulación de emulsiones. *Grasas y Aceites*, 58(1), 64–73. <https://doi.org/10.3989/gya.2007.v58.i1.24>

- Murty, C. M., Pittaway, J. K., & Ball, M. J. (2010). Chickpea supplementation in an Australian diet affects food choice, satiety and bowel health. *Appetite*, 54(2), 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.12.016>
- Nash, J. J., & Erk, K. A. (2017). Stability and interfacial viscoelasticity of oil–water nanoemulsions stabilized by soy lecithin and Tween 20 for the encapsulation of bioactive carvacrol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 517, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.01.003>
- Nava, H. Á., & Villarreal, M. B. (2019). Emulsiones en alimentos y sus aplicaciones. *Presencia Universitaria*, 7(14), 64–73.
- NMX-F-021-NORMEX-2006. (2006). *Alimentos – mayonesa – especificaciones y métodos de prueba*. Secretaría de Economía, México. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de abril de 2006.
- Olsmats, E., & Rennie, A. R. (2024). Understanding stabilization of oil-in-water emulsions with pea protein— studies of structure and properties. *Langmuir*, 40(26), 13386–13396.
- Onder, S., Karaca, A. C., Ozcelik, B., Alamri, A. S., Ibrahim, S. A., & Galanakis, C. M. (2022). Exploring the amino acid composition, secondary structure, and physicochemical and functional properties of chickpea protein isolates. *ACS Omega*, 8(1), 1486–1495. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06688>
- Orejuela Gómez, L. J., & Maldonado Torregroza, J. D. (2022). *Beneficios por el consumo de carne (proteína animal) en la población humana* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medicina Veterinaria y Zootecnia, Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/46710>
- Paakki, M., Sandell, M., & Hopia, A. (2019). Visual attractiveness depends on colorfulness and color contrasts in mixed salads. *Food Quality and Preference*, 76, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.03.019>
- Papalamprou, E. M., Doxastakis, G. I., & Kiosseoglou, V. (2010). Chickpea protein isolates obtained by wet extraction as emulsifying agents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), 304–313. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3816>
- Pascual-Bustamante, S., Raya-Pérez, J. C., Aguirre-Mancilla, C. L., Ramírez Pimentel, J. G., Vargas-Martínez, M. G., & Trejo-Márquez, M. A. (2024). Chemical and protein characterization of two varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.): Costa 2004 and El Patrón. *Plants*, 13(15), 2125. <https://doi.org/10.3390/plants13152125>
- Pearce, K. N., & Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3), 716–723. <https://doi.org/10.1021/jf60217a041>



- Perović, M. N., & Antov, M. G. (2022). The influence of enzymatic pretreatment of chickpea on properties of protein nanoparticles prepared by heat treatment. *LWT*, 163, 113545. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113545>
- Porras, J. (2010). *Caracterización del proceso de obtención de aislados de proteína de Lupinus silvestre del estado de Hidalgo* (Tesis de posgrado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Rachwa-Rosiak, D., Nebesny, E., & Budryn, G. (2015). Chickpeas—composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(8), 1137–1145. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.687418>
- Real Hernández, L. M., & De Mejía, E. (2019). Enzymatic production, bioactivity, and bitterness of chickpea (*Cicer arietinum* L.) peptides. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 1913–1946. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12502>
- Rebolleda, S., Sanz, M. T., Benito, J. M., Beltrán, S., Escudero, I., & San-José, M. L. G. (2015). Formulation and characterisation of wheat bran oil-in-water nanoemulsions. *Food Chemistry*, 167, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.090>
- Rezaei, L., Safavi, M. S., & Shojaosadati, S. A. (2019). Protein-based nanocarriers for targeted drug delivery. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Biological nanomaterials for drug delivery* (pp. 199–218). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816505-8.00008-3>
- Rodríguez, E., & Sandoval, A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal: investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos. *Tecnura*, 7(13), 4–13.
- Salas, J., López-Miranda, J., Jansen, S., Zambrana, J. L., Castro, P., Paniagua, J. A., Blanco, A., López-Segura, F., Perepérez, J. A., & Pérez-Jiménez, F. (1999). La dieta rica en grasa monoinsaturada modifica de forma beneficiosa el metabolismo de los hidratos de carbono y la presión arterial. *Medicina Clínica*, 113(20), 765–769.
- Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. *Food Hydrocolloids*, 43, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.012>
- Scholz Gómez, N. A. (2023). *Estudio de mercado de suplementos de proteína de base vegetal* (Trabajo de grado). Facultad de Economía y Empresa, Universidad del País Vasco, España. <http://hdl.handle.net/10810/67591>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1979). *NMX-F-341-S-1979, Aderezo con mayonesa*. Dirección General de Normas.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). *Producción de garbanzo en México: ciclo 2018*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022–2024). *Producción de garbanzo en México: periodo 2022–2024*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Producción de garbanzo en México: ciclo 2023*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Shu, G., Khalid, N., Zhao, Y., Neves, M. A., Kobayashi, I., & Nakajima, M. (2016). Formulation and stability assessment of ergocalciferol loaded oil-in-water nanoemulsions: insights into the emulsifiers effect on stabilization mechanism. *Food Research International*, 90, 320–327. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.047>
- Singh, G. D., Wani, A. A., Kaur, D., & Sogi, D. S. (2008). Characterisation and functional properties of proteins of some Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(5), 778–786. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3144>
- Sotelo, A., & Adsule, R. N. (1996). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). En J. Janick (Ed.), *Food and feed from legumes and oilseeds* (pp. 82–89). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1763-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1763-4_8)
- Sotomayor-Gerding, D., Oomah, B. D., Acevedo, F., Morales, E., Bustamante, M., Shene, C., & Rubilar, M. (2016). High carotenoid bioaccessibility through linseed oil nanoemulsions with enhanced physical and oxidative stability. *Food Chemistry*, 199, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.047>
- Sudar-Milovanovic, E., Obradovic, M., Jovanovic, A., Zaric, B., Zafirovic, S., Panic, A., & Isenovic, E. R. (2016). L-arginine benefits on the cardiovascular system. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 16(2), 94–103. <https://doi.org/10.2174/1389557515666150619121654>
- Sudarsanan, G., Addanki, M., & Shanmugam, A. (2023). Improved extraction and modification of plant protein from desi chickpea variety using green technology. *Food Chemistry Advances*, 3, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100521>
- Suhail, N., Alzahrani, A. K., Basha, W. J., Kizilbash, N., Zaidi, A., Ambreen, J., & Khachfe, H. M. (2021). Microemulsions: unique properties, pharmaceutical applications, and targeted drug delivery. *Frontiers in Nanotechnology*, 3, 754889. <https://doi.org/10.3389/fnano.2021.754889>
- Tabibiazar, M., Davaran, S., Hashemi, M., Homayonirad, A., Rasoulzadeh, F., Hamishehkar, H., & Mohammadifar, M. A. (2015). Design and fabrication of a food-

- grade albumin-stabilized nanoemulsions. *Food Hydrocolloids*, 44, 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.013>
- Tang, Q., & Huang, G. (2022). Improving method, properties and application of polysaccharide as emulsifier. *Food Chemistry*, 376, 131937. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131937>
- Vihinen, M. (2020). Protein solubility. *ADMET and DMPK*, 8(4), 391–399. <https://doi.org/10.5599/admet.828>
- Villalobos-Espinosa, J. C., García-Armenta, E., Alamilla-Beltrán, L., Quintanilla-Carvajal, M. X., Azuara-Nieto, E., Hernández-Sánchez, H., et al. (2022). Effect of pumping and atomisation on the stability of oil/water emulsions. *Journal of Food Engineering*, 327, 111056. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111056>
- Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Pedroche, J., Yust, M. D. M., & Millán, F. (2001). *Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados proteicos*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España.
- Wallace, T. C., Murray, R., & Zelman, K. M. (2016). The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*, 8(12), 766. <https://doi.org/10.3390/nu8120766>
- Wood, J. A., & Grusak, M. A. (2007). Nutritional value of chickpea. En S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen, & B. Sharma (Eds.), *Chickpea breeding and management* (pp. 101–142). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845932138.0101>
- Xu, W., McClements, D. J., Xu, Z., Meng, M., et al. (2024). Optimization of emulsion properties of chickpea protein and its application in food. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 101(10), 971–980. <https://doi.org/10.1002/aocs.12816>
- Xu, Y., Obielodan, M., Sismour, E., Arnett, A., Alzahrani, S., & Zhang, B. (2017). Physicochemical, functional, thermal and structural properties of isolated Kabuli chickpea proteins as affected by processing approaches. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 1147–1154. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13386>
- Yaqoob Khan, A., Talegaonkar, S., Iqbal, Z., Jalees Ahmed, F., & Krishan Khar, R. (2006). Multiple emulsions: an overview. *Current Drug Delivery*, 3(4), 429–443. <https://doi.org/10.2174/156720106778559019>
- Yegrem, L. (2021). Nutritional composition, antinutritional factors, and utilization trends of Ethiopian chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Food Science*, 2021, 5570753. <https://doi.org/10.1155/2021/5570753>
- Yepes, D. P., Sánchez, L., & Marqués, C. (2017). Extracción termomecánica y caracterización fisicoquímica del aceite de aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass). *Informador Técnico*, 81(1), 75–84. <https://doi.org/10.23850/22565035.1236>

- Yerramilli, M., Longmore, N., & Ghosh, S. (2017). Improved stabilization of nanoemulsions by partial replacement of sodium caseinate with pea protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 64, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.015>
- Zeeb, B., Herz, E., McClements, D. J., & Weiss, J. (2015). Impact of alcohols on the formation and stability of protein-stabilized nanoemulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 449, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.12.069>
- Zhang, T., Jiang, B., Mu, W., & Wang, Z. (2009). Emulsifying properties of chickpea protein isolates: influence of pH and NaCl. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.012>
- Zuñiga-Salcedo, M. R., Ulloa, J. A., Bautista-Rosales, P. U., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., Silva-Carrillo, Y., et al. (2019). Effect of ultrasound treatment on physicochemical, functional and nutritional properties of a safflower (*Carthamus tinctorius* L.) protein isolate. *Italian Journal of Food Science*, 31(3), 591–603.