

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

---

**“Efecto del ultrasonido en la extracción, comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*)”**

---

---

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Agroindustrial**

**Autores:**

**Bach. Torres Moreno, Juan Manuel**

**Bach. Pajuelo Baca, Fiorella Kelly**

**Asesor:**

**Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino DNI.  
N°: 32975182**

**Código ORCID: 0000-0003-0488-5726**

**Nuevo Chimbote - Perú 2023**

**“UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente tesis para título, se revisó y desarrolló en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando dentro de las áreas y líneas de investigación conforme a reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R.D. N° 492-20147-CU-R-UNS), de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**"EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN,  
COMPORTAMIENTO REOLÓGICO Y PROPIEDADES  
FUNCIONALES DEL CUSHURO (Nostoc Sphaericum)"**

**Autores:**

Bach. Torres Moreno Juan Manuel  
Bach. Pajuelo Baca Fiorella Kelly

---

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda  
DNI: 32975182  
Código ORCID:0000-0003-0488-5726  
INTEGRANTE

**“UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presente jurado evaluador de la conformidad de la presente Tesis para Título, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D. N° 492-20147-CU-R-UNS), titulado:

**"EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN,  
COMPORTAMIENTO REOLÓGICO Y PROPIEDADES  
FUNCIONALES DEL CUSHURO (Nostoc Sphaericum)"**

**Autores:**

Bach. Torres Moreno Juan Manuel  
Bach. Pajuelo Baca Fiorella Kelly

Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.



---

Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta

DNI: 17859760

Código ORCID: 0000-0003-3214-2698

PRESIDENTE



---

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca.

DNI: 18146173

Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

SECRETARIO



---

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda

DNI: 32975182

Código ORCID:0000-0003-0488-5726

INTEGRANTE



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 08:00 horas del día siete de mayo del dos mil veinticuatro, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° - 194-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta.** (Presidente)
- **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca** (Secretario)
- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

**“EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN, COMPORTAMIENTO REOLÓICO Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL CUSHURO (Nostoc Sphaericum)”**, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **JUAN MANUEL TORRES MORENO**
- **FIGRELLA KELLY PAJUELO BACA**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda.**

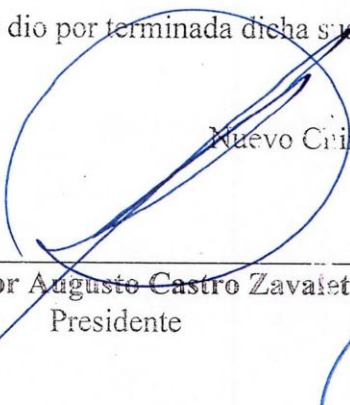
Finalizada la sustentación, el Tesisista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

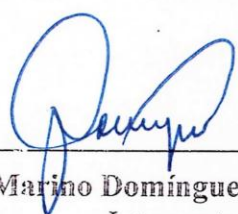
NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
FIGRELLA KELLY PAJUELO BACA	DIECIOCHO	BUENO

Siendo las 10:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 07 de mayo del 2024.

  
Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta  
Presidente

  
Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca  
Secretario

  
Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 08:00 horas del día siete de mayo del dos mil veinticuatro, se instalaron en el laboratorio de "Composición de alimentos multimedia de la EPIA -3er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° - 194-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta.** (Presidente)
- **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca** (Secretario)
- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

**"EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN, COMPORTAMIENTO REOLÓGICO Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL CUSHURO (Nostoc Sphaericum)"**, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **JUAN MANUEL TORRES MORENO**
- **FIGRELLA KELLY PAJUELO BACA**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda**.

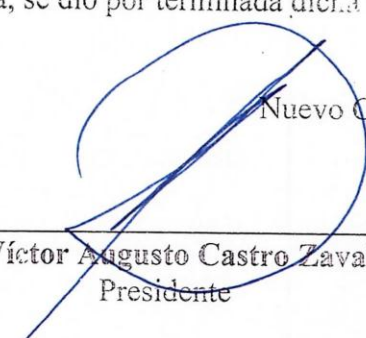
Finalizada la sustentación, el Tesisista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran.

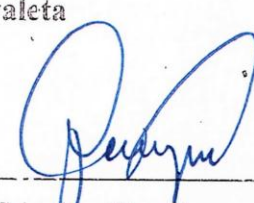
NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
JUAN MANUEL TORRES MORENO	Dieciocho	Bueno

Siendo las 10:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chirabote, 07 de mayo del 2024.

  
Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta  
Presidente

  
Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca  
Secretario

  
Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda  
Integrante





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jorge Dominguez Castañeda  
Título del ejercicio: A1  
Título de la entrega: TESIS JUAN MANUEL 15.05.2024.pdf  
Nombre del archivo: TESIS\_JUAN\_MANUEL\_15.05.2024.pdf  
Tamaño del archivo: 2.25M  
Total páginas: 92  
Total de palabras: 22,776  
Total de caracteres: 123,972  
Fecha de entrega: 30-may.-2024 12:33a. m. (UTC+0700)  
Identificador de la entrega... 2390952260

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



"EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN,  
COMPORTAMIENTO REOLÓGICO Y PROPIEDADES  
FUNCIONALES DE LAS PROTEÍNAS DEL CUSHURO (*Nostoc  
sphaericum*)"

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTORES:

Bach. Juan Manuel Torres Moreno  
y Bach. Fiorella Kelly Pajuelo Baca

ASESOR:

Dr. Jorge Dominguez Castañeda  
DNI. N°. 32975182  
Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Nuevo Chimbote - Perú  
2023

# TESIS JUAN MANUEL 15.05.2024.pdf

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>24%</b> <small>EN</small>	<b>21%</b>	<b>22%</b>	<b>14%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.mdpi.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>dergipark.org.tr</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	Nitya Bhargava, Rahul S Mor, Kshitiz Kumar, Vijay Singh Sharanagat. "Advances in application of ultrasound in food processing: A review", Ultrasonics Sonochemistry, 2021 Publicación	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>www.ncbi.nlm.nih.gov</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	Mohit Singla, Nandan Sit. "Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review", Ultrasonics Sonochemistry, 2021 Publicación	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>coek.info</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

## **DEDICATORIA**

Dedico este Proyecto de Tesis A Dios primeramente por permitirme desarrollar tan grande anhelo.

A mi Padre JUAN MANUEL TORRES MORALES, a ti papá con amor ya que tú deseaste que yo fuera INGENIERO y aquí estoy papá llegando a la meta. Para ti, que estás descansando en la presencia de Nuestro Dios. Te extraño papá, cuanto desea mi corazón que fueses testigo de esta alegría.

A ti mamá Hilda con todo mi amor madre, eres mi inspiración a seguir, mi motor. Te amo mamá.

A mis hermanos con amor: Omar, Renato, Bruno y Bonie.  
Y mis bellos sobrinos.

Juan Manuel



## DEDICATORIA

Este proyecto de Tesis, está dedicado primeramente a Dios, a mi Señor Jesucristo, para aquel que lea este proyecto sepa que Dios es Amor.

A mis padres: Mi papá Rolando Pajuelo, padre por ti estudié esta carrera, gracias por tus consejos y todo lo que haces por mí. Te amo papá. A ti mamá Hilda con todo mi amor, por todo el esfuerzo que haz hecho por mi y lo sigues haciendo, te amo mamá.

A mis hermosos Tesoros, La Herencia de Jehová mis hijos. Yared y Gael, que nada les impida seguir adelante, todo se puede con la mano de Dios.

A mis hermanos Ronald que eres un ejemplo para mi, gracias por todo y Renzo mi hermanito menor con amor.

Fiorella Kelly

## **AGRADECIMIENTO**

Damos gracias a Dios por habernos permitido a dar este gran paso en nuestra vida profesional.

También un agradecimiento con todo el amor a nuestros familiares por toda su comprensión para poder realizar este proyecto.

Un agradecimiento muy especial a nuestro Asesor Dr. Jorge Domínguez, por toda su asesoría y paciencia para con nosotros, en cada paso de este proyecto.

Agradecidos con todos los colaboradores como el Mg. John, Lenin y el Dr. Williams por su apoyo en toda la realización de nuestras prácticas en el laboratorio.

Y agradecidos con todos los laboratoristas que de una u otra forma nos ayudaron de gran corazón, a todos que Dios los bendiga.

Con cariño, Juan y Fiorella

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Tratamiento Ultrasonido.....	3
2.1.1. Generación de ultrasonido.....	8
2.1.2. Influencia de la frecuencia en la extracción.....	9
2.1.3. Extracción de compuestos valiosos de materiales alimentarios.....	10
2.1.4. Propiedades funcionales de las proteínas.....	12
2.2. Cushuro (Nostoc sphaericum).....	18
2.3. El ámbito de la Reología en la industria agroalimentaria.....	20
2.3.1. Clasificación reológica de los alimentos.....	20
2.3.2. Fluidos Newtonianos.....	21
2.3.3. Fluidos No Newtonianos.....	22
2.3.4. Parámetros Reológicos.....	23
2.3.5. Modelos reológicos para fluidos no dependientes del tiempo.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.....	27
3.1.1. MATERIA PRIMA.....	27
3.2. MATERIALES Y REACTIVOS.....	27
3.2.1. MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS.....	27
3.2.2. REACTIVOS.....	27
3.2.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	27
3.4. PROCEDIMIENTO.....	28
3.4.1. Extracción de proteína de cushuro.....	28
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	30
3.5.1. Caracterización funcional de la proteína de cushuro.....	30
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	33
3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
4.1. Características fisicoquímicas y composición proximal de cushuro (Nostoc sphaericum).....	37



4.2. Procesos de extracción por Ultrasonido de las proteínas del cushuro (Nostoc sphaericum).....	37
4.3. Propiedades tecnológicas de la proteína del cushuro (Nostoc sphaericum) extraída por ultrasonido.....	43
4.4. Comportamiento reológico de proteína del cushuro (Nostoc sphaericum) extraída por ultrasonido.....	55
V. CONCLUSIONES .....	60
VI. RECOMENDACIONES .....	61
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	62
VII. ANEXOS.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Rango de frecuencia de las ondas sonoras .....	8
Figura 2: Generación del Ultrasonido .....	9
Figura 3. Principio de cavitación acústica.....	9
Figura 4. fenómeno de cavitación, colapso y liberación del material vegetal .....	10
Figura 5: Diagrama de Pareto para los efectos estimados para el Porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) .....	39
Figura 6: Grafico de superficie de respuesta para el Porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum).....	42
Figura 7: Diagrama de Pareto para los efectos estimados para la Capacidad de retencion agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum).....	45
Figura 8: Grafico de superficie de respuesta para la Capacidad de Retencion Agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) ...	48
Figura 9: Diagrama de Pareto para los efectos estimados para la Capacidad de retención grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum).....	51
Figura 10: Grafico de superficie de respuesta para la Capacidad de retención grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum).....	54
Figura 11: Curvas de Comportamiento reológico de soluciones de proteína de cushuro extraído por ultrasonido a concentraciones de 5%, 7.5 y 10% p/v.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1: Modelos reologicos para fluidos no newtonianos independientes del tiempo.....	26
Tabla 2: Matriz de operacionalización de Variables de estudios.....	34
Tabla 3: Composición Proximal de cushuro (Nostoc sphaericum) deshidratado.	36
Tabla 4: Efectos estimados para el Porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum).....	38
Tabla 5: Análisis de Varianza para Porcentaje de Proteína extraído por ULTRASONIDO de cushuro (Nostoc sphaericum) .....	40
Tabla 6: Efectos estimados para la Capacidad de Retencion de Agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) .....	44
Tabla 7: Análisis de Varianza para la Capacidad de Retencion Agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) .....	46
Tabla 8: Efectos estimados para la Capacidad de retención de grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) .....	50
Tabla 9: Análisis de Varianza para la Capacidad de retención grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) .....	52
Tabla 10: Caracterización reológica de soluciones de proteína de cushuro extraído por ultrasonido a diferentes concentraciones y temperatura*Cálculo del promedio y desviación estándar con 3 repeticiones.....	56
Tabla 11: Parámetros del modelo reológico pseudoplastico para las proteína de cushuro extraída por ultrasonido.....	59



## RESUMEN

La investigación se enfocó en el efecto del ultrasonido en la extracción, comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*). Se evaluaron dos variables clave en la extracción de proteínas del cushuro mediante ultrasonido: el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación, con niveles bajos y altos para cada una. Los resultados obtenidos mostraron que el tiempo de sonicación tuvo un efecto significativo en el porcentaje de proteína extraído, mientras que la temperatura de sonicación también influyó en el proceso. La interacción entre el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación resultó ser significativa, sugiriendo que la combinación de estos dos factores tuvo un impacto adicional en la extracción de proteínas en comparación con los efectos individuales. Además, se evaluaron las propiedades tecnológicas de la proteína del cushuro extraída por ultrasonido, incluyendo la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de grasa y el comportamiento reológico. Los resultados mostraron que la proteína del cushuro extraída por ultrasonido tiene propiedades funcionales prometedoras, lo que sugiere su potencial uso en la industria alimentaria.

**Palabras clave:** cushuro, ultrasonido, extracción de proteínas, propiedades funcionales, comportamiento reológico.

## ABSTRACT

The research focused on the effect of ultrasound on the extraction, rheological behavior, and functional properties of cushuro (*Nostoc sphaericum*) proteins. Two key variables were evaluated in the ultrasound-assisted protein extraction process: sonication time and sonication temperature, each at low and high levels. The results showed that sonication time had a significant effect on the percentage of extracted protein, and sonication temperature also influenced the process. The interaction between sonication time and temperature was significant, suggesting that the combination of these factors had an additional impact on protein extraction compared to individual effects. Additionally, the technological properties of the proteins extracted from cushuro by ultrasound were evaluated, including water retention capacity, fat retention capacity, and rheological behavior. The results indicated that the proteins extracted by ultrasound exhibited promising functional properties, suggesting their potential use in the food industry. The research provides valuable insights into the ultrasound-assisted protein extraction process and the properties of the extracted proteins, which could be useful for their application in the food industry.

**Keywords:** cushuro, ultrasound, protein extraction, functional properties, rheological behavior.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la creciente conciencia sobre la necesidad de encontrar fuentes proteicas alternativas y sostenibles ha impulsado la exploración de microorganismos no convencionales con destacado potencial nutricional. En este contexto, el cushuro (*Nostoc sphaericum*), una cianobacteria comestible, ha despertado el interés de la comunidad científica y de la industria alimentaria gracias a sus propiedades nutricionales prometedoras. No obstante, para aprovechar al máximo este recurso, resulta imperativo desarrollar métodos eficientes de extracción de sus proteínas, así como comprender en detalle el impacto de estos procesos en las propiedades reológicas y funcionales de estos componentes esenciales.

La aplicación del ultrasonido, como técnica emergente en la extracción de proteínas, se erige como una herramienta eficaz y no invasiva en diversos ámbitos alimentarios. Su empleo en la extracción de proteínas del cushuro plantea la posibilidad de mejorar significativamente la eficiencia del proceso, ofreciendo la oportunidad de obtener productos finales con propiedades mejoradas. Además, la comprensión minuciosa del comportamiento reológico y las propiedades funcionales de las proteínas extraídas mediante ultrasonido resulta crucial para optimizar su aplicación en productos alimentarios y ampliar su viabilidad comercial.

En este contexto, surge el planteamiento del problema que orienta esta investigación: ¿Cuál será el efecto del ultrasonido en la extracción, comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*)? Para responder a esta incógnita, se plantea un conjunto de objetivos, teniendo como objetivo general la de evaluar el efecto del ultrasonido en la extracción, comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*). Y como objetivos específicos determinar las características fisicoquímicas y composición proximal de cushuro (*Nostoc sphaericum*), determinar el tiempo y temperatura óptima para extracción de las proteínas del cushuro, determinar las propiedades tecnofuncionales de la proteína del cushuro (*Nostoc sphaericum*) extraída según diseño experimental. Determinar el comportamiento reológico de una solución de proteína de cushuro a diferentes concentraciones y temperaturas.



A través de esta investigación, se aspira a obtener una comprensión integral de las propiedades intrínsecas de las proteínas del cushuro, con especial énfasis en la influencia del ultrasonido en estos procesos. Este estudio no solo contribuirá al conocimiento científico en el ámbito de la tecnología de alimentos, sino que también proporcionará información valiosa para la formulación de productos alimentarios enriquecidos con proteínas provenientes de esta fuente no convencional, abriendo nuevas perspectivas para la diversificación de fuentes proteicas en la industria alimentaria.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Tratamiento Ultrasónico

El tratamiento ultrasónico es una tecnología de proceso clave en las industrias química y alimentaria. Es un procedimiento considerado “verde” y sustentable, con alta reproducibilidad, con uso reducido de solventes – en comparación con otros procesos – lo que en consecuencia elimina el postratamiento de aguas residuales (CHEMAT et al., 2017).

En el procesamiento de alimentos, el tratamiento ultrasónico puede ser tanto de alta como de baja frecuencia. La baja frecuencia es utilizada para la caracterización de alimentos, mientras que la alta frecuencia es la más utilizada, como modificar propiedades como solubilidad, emulsión, viscosidad, ruptura celular, polimerización, inactivación de microorganismos, entre otras (VERRUCK; PRUDENCIO, 2018).

Las ondas de sonido que superan el rango de frecuencia audible, es decir, mayores de 20 kHz, se denominan "Ultrasonido". Cuando las ondas acústicas se propagan a través de un medio, generan compresiones y rarefacciones (descompresiones) en las partículas del medio. Esto, a su vez, produce una gran cantidad de energía debido a la turbulencia y al aumento de la transferencia de masa. El principio subyacente es la reflexión y dispersión de ondas sonoras análogas a las ondas de luz (Jambrak, 2018).

El ultrasonido es una tecnología sostenible emergente que mejora la velocidad de varios procesos en la industria de procesamiento de alimentos y su eficiencia. También se puede aplicar en combinación con temperatura (termosonificación) y presión (manosonificación) para producir un efecto sinérgico, que aumenta aún más su eficacia (Condón, et. al. 2019). Según la intensidad y la frecuencia de las ondas de ultrasonido utilizadas en la aplicación alimentaria, se pueden clasificar en dos categorías: ultrasonido de baja intensidad y alta intensidad. Las ondas de ultrasonido de baja intensidad o alta frecuencia, también conocidas como ondas diagnósticas, tienen una frecuencia

característica mayor de 100 kHz e intensidades por debajo de 1 W/cm<sup>2</sup>. Estas ondas se pueden utilizar para evaluar la estructura (forma, tamaño y dimensiones) del producto alimenticio, determinar la composición de productos alimenticios frescos como carne y aves, y productos pesqueros crudos y fermentados. Se emplea como herramienta para el análisis no invasivo y no destructivo de productos alimenticios durante su procesamiento y almacenamiento. También es instrumental en la regulación y control de calidad de frutas y verduras recién producidas tanto durante las operaciones previas como posteriores a la cosecha (Arvanitoyannis, et. al. 2017).

El principio de funcionamiento del ultrasonido de baja energía es que aprovecha eficazmente la interacción entre la materia y las ondas de sonido de alta frecuencia para obtener información detallada sobre la estructura, dimensiones y composición del producto a través del cual se difunde. Además, la atenuación ocurre debido a la pérdida de energía en la compresión y descompresión de las ondas (Buckin, et. al. 2018). El mecanismo de absorción se asocia con materiales homogéneos y la dispersión con materiales heterogéneos, lo que proporciona información sobre atributos fisicoquímicos del material (Dukhin, et. al. 2020).

Las ondas de ultrasonido de alta intensidad y baja frecuencia se caracterizan como disruptivas y, por lo tanto, inducen efectos considerables en las propiedades físicas, bioquímicas y mecánicas de los productos alimenticios en comparación con el ultrasonido de baja potencia. Su frecuencia oscila entre 20 y 100 kHz, mientras que las intensidades se encuentran en el rango de 10 a 1000 W/cm<sup>2</sup>. Esto tiene una amplia aplicación en emulsificación, desespumación, regulación de microestructuras y modificación de atributos texturales de productos grasos, sonocristalización y propiedades funcionales de proteínas alimenticias. También tiene aplicaciones significativas en numerosas operaciones unitarias de congelación, secado, ablandamiento, concentración, descongelación (Fu, et. al. 2020). El ultrasonido de alta intensidad se caracteriza por la inducción de cavitación acústica, que se

produce debido a la producción, crecimiento subsiguiente y colapso repentino de burbujas más grandes que liberan una gran cantidad de energía (Alzamora, et. al. 2018).

Se han realizado diversas revisiones sobre las aplicaciones de la tecnología de ultrasonido en la extracción, conservación y procesamiento de productos alimenticios. Sin embargo, no se ha presentado una revisión específica que cubra la aplicación del ultrasonido en la industria alimentaria para el procesamiento de alimentos y la mejora de las operaciones unitarias con perspectivas futuras de comercialización. Este artículo de revisión resume las diversas aplicaciones del ultrasonido en diferentes operaciones unitarias (filtración, congelación, descongelación, salmuera, esterilización/pasteurización, corte, etc.) y divisiones específicas de alimentos (carne, frutas y verduras, cereales, lácteos, etc.), junto con las ventajas y desventajas de la tecnología. (Alzamora, et. al. 2018).

Los ultrasonidos de alta intensidad provocan cambios en la estructura de las proteínas, de tal manera que las partes hidrofílicas de los aminoácidos se desplazan hacia el agua, promoviendo un aumento de la solubilidad de las proteínas (CHEMAT et al., 2017). El proceso de ultrasonido utiliza conceptos de cavitación y transmisión acústica y puede ser del tipo baño y sonda. El mecanismo de la cavitación es la producción de pequeñas burbujas que se expanden y contraen a lo largo del proceso, volviéndose inestables y explotando violentamente, y con esta explosión se envían ondas de choque promoviendo la disrupción de las células. La transmisión acústica es la facilidad de mezcla dentro de la solución. El baño de ultrasonidos funciona a través de transductores ubicados en la parte inferior del equipo, los cuales pueden variar en tamaño y forma del equipo, en los cuales se generan las ondas ultrasónicas (VERRUCK; PRUDENCIO, 2018).

El uso de ultrasonido ha atraído una atención considerable para el desarrollo de nuevos procesos para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos. Además, la tecnología ofrece el potencial para mejorar los procesos existentes, especialmente los de extracción de proteínas. El

ultrasonido (US) es una técnica prometedora en la tecnología de los alimentos con bajo impacto en el medio ambiente, y en los Estados Unidos ya se le conoce como tecnología verde (HIGUERA-BARRAZA et al., 2016).

El ultra sonido representa un método de procesamiento no térmico que utiliza ondas sonoras con una frecuencia por encima del umbral del oído humano (~20 kHz). Su mecanismo funcional se basa en el paso de ondas que crean regiones de alta y baja presión, y esta variación de la presión acústica es directamente proporcional a la cantidad de energía aplicada al sistema. El ultrasonido se puede clasificar en dos categorías: baja intensidad ( $1 \text{ W cm}^{-2}$ ) con una frecuencia de 5-10 MHz y alta intensidad ( $10\text{-}1000 \text{ W cm}^{-2}$ ) con una frecuencia de 20-100 kHz (HIGUERA-BARRAZA et al. ,2016). Actualmente existe un gran interés por los ultrasonidos de alta intensidad, ya que su propagación en material biológico induce la compresión y descompresión de partículas que altera las propiedades fisicoquímicas del material y mejora la calidad de diversos sistemas. Una de las áreas más estudiadas es la extracción asistida para recuperar proteínas y mejorar propiedades funcionales (GHARIBZAHEDI; SMITH, 2020). Los ultrasonidos de alta intensidad se utilizan en aplicaciones para inducir cambios físicos y químicos en matrices de plantas debido a efectos mecánicos y de cavitación. El uso de esta técnica da como resultado un mayor rendimiento de extracción causado por la rápida formación y colapso de burbujas de gas generadas por ondas ultrasónicas en la superficie de la celda de la muestra, formación de micro chorros, micro turbulencia que ejercen una gran fuerza mecánica y de corte, provocando la ruptura de la membrana y de la pared celular. De esta manera, el solvente circundante puede penetrar efectivamente en las células a través de las grietas causadas por el ultrasonido y liberar las proteínas intracelulares en el solvente (KUMAR et al., 2021).

Sin embargo, el tratamiento con ultrasonido de alta intensidad durante tiempos de tratamiento más prolongados puede generar condiciones de

alta temperatura y presión que pueden alterar el estado nativo de la proteína. Por lo tanto, la frecuencia, la potencia, el intervalo de tiempo, la temperatura, el pH, la velocidad y la intensidad del ultrasonido son factores esenciales para su uso, y es necesario optimizar las condiciones de tratamiento para aplicaciones específicas de EE. UU. para obtener buenos resultados (KADAM et al., 2015).

La técnica de ultrasonido es relativamente económica y simple. Adicionalmente, existen investigaciones que respaldan la efectividad de la sonicación en la mejora de las propiedades físicas y tecnológicas de las proteínas (TÉLLEZ-MORALES; HERNÁNDEZ-SANTO; RODRÍGUEZ-MIRANDA, 2019). En un estudio realizado por Flores-Jímenez et al. (2019), el tratamiento con ultrasonido (40 kHz durante 15 y 30 min) incrementó la solubilidad de la proteína, la capacidad de absorción de aceite y las propiedades emulsionantes, gelificantes y espumantes del aislado de proteína obtenido de canola.

El sonido es una oscilación de la materia que se propaga en forma de onda mecánica. En el estado de equilibrio, las partículas de materia oscilan alrededor de su posición de equilibrio. Cuando la onda mecánica atraviesa la materia, se produce un desplazamiento del estado de equilibrio y tal perturbación se desplaza por el medio. Eventualmente, el sistema vuelve al equilibrio, a un estado no perturbado. Las ondas mecánicas que se propagan en los sólidos se denominan “elásticas”, mientras que las que se propagan en los fluidos se denominan “acústicas” (ENSMINGER; BOND, 2011). Las ondas elásticas se pueden transmitir como ondas longitudinales (esfuerzo de expansión de compresión alterna) u ondas transversales (esfuerzo de corte alterno). Las ondas acústicas son de tipo longitudinal únicamente (presión de fluido alterna). La frecuencia de las ondas mecánicas oscila entre menos de 16 Hz y más de 1 GHz y permite dividir los “sonidos” en cuatro grupos (Figura 1), a saber: infrasonidos (1 a 16 Hz), acústicos (sonidos audibles, 16 a 20 kHz), ultrasonido (20 kHz - 1 GHz) e hipersonido (por encima de 1 GHz) (CHEEKE, 2012).

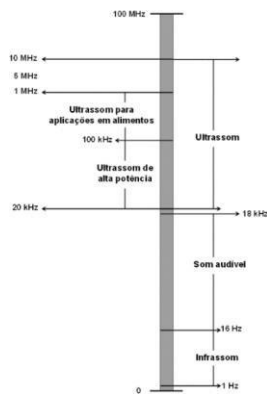


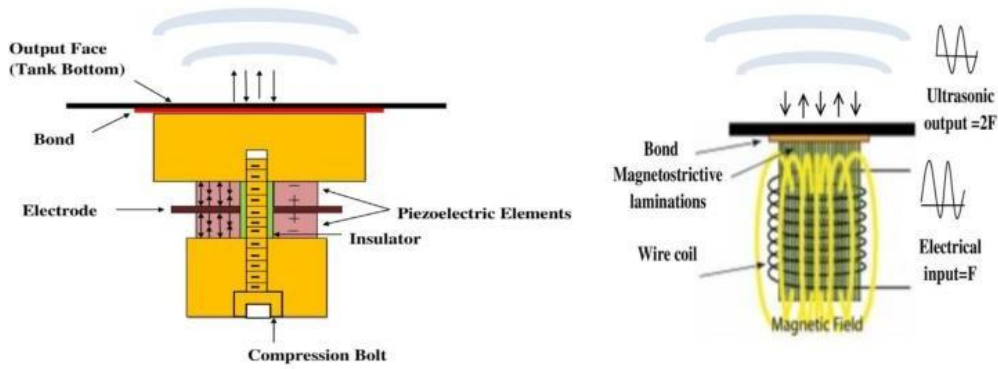
Figura 1: Rango de frecuencia de las ondas sonoras.

Fuente: Adaptado de Cheng et al. (2015).

### 2.1.1. Generación de ultrasonido

El componente más básico utilizado en la generación de ultrasonido es un transductor que convierte pulsos eléctricos en energía acústica de la intensidad requerida (Rana, 2017). Hay dos tipos de transductores, es decir, magnetostrictivos y piezoeléctricos, que se utilizan principalmente para la generación de ultrasonido (Fig. 2). Los transductores magnetostrictivos actúan como transductores electroacústicos para la generación de ondas ultrasónicas. Estos transductores trabajan según el principio de la magnetostricción, que se describe como la alteración subsiguiente en la longitud por unidad de longitud. Esto se produce por la magnetización al aplicar el campo magnético, siempre que el material utilizado sea magnetostrictivo (Fig. 2). El transductor piezoeléctrico se ocupa de la interconversión de energías acústicas y eléctricas. El principio básico de un sensor/transductor piezoeléctrico es que cuando un cristal de cuarzo o cualquier material piezoeléctrico se somete a una fuerza, genera cargas eléctricas en su superficie, que se pueden denominar piezoelectricidad y que pueden ser responsables de la acción de limpieza.





Transductor piezoeléctricos

Transductor magnetoestrictivos

Fig. 2 Generación del Ultrasonido

### 2.1.2. Influencia de la frecuencia en la extracción

La cavitación acústica genera un ambiente físico y químico extremo en los líquidos. La agitación mecánica, los micro chorros, las fuerzas de cizallamiento, las microcorrientes, los puntos calientes y las ondas de choque son algunas de las fuerzas físicas que se han utilizado con eficacia en varias aplicaciones, incluidas la emulsificación y la extracción [1–4]. El entorno térmico extremo generado dentro de las burbujas de cavitación conduce a la generación de una variedad de reacciones químicas, incluida la generación de radicales altamente reactivos [5–10]. Dependiendo de la naturaleza de la aplicación, se pueden utilizar selectivamente los efectos físicos, químicos o ambos de la cavitación acústica.

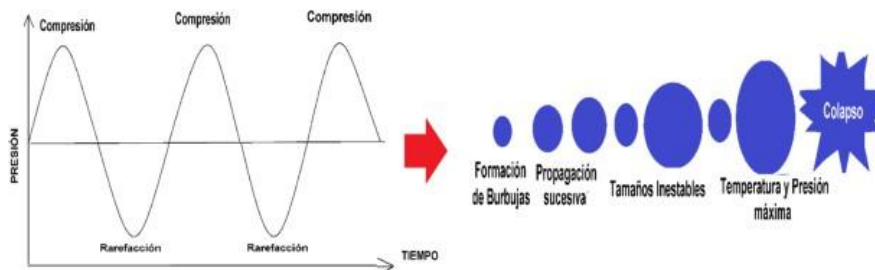


Figura 3. Principio de cavitación acústica

Fuente: Medina-Torres et al. 2017.

Es así que se ha logrado la fragmentación que se atribuye a las ondas ultrasónicas y a la colisión de las partículas. Reduciendo el tamaño de la partícula y logrando una fácil transferencia de masa. Otra técnica involucrada es la erosión la cual por la implosión de las burbujas sobre la superficie de la matriz vegetal mejora la accesibilidad del disolvente. Es así que la sonoporación y la sonocapilaridad mejoran la penetración del fluido por los canales provocados por la implosión de las burbujas, provocando alterar la \*permeabilidad en las membranas celulares. Finalmente, el esfuerzo de cizallamiento produce el colapso de las burbujas en el fluido debido al fenómeno de oscilación (figura 4) (Chemat et al. 2017).

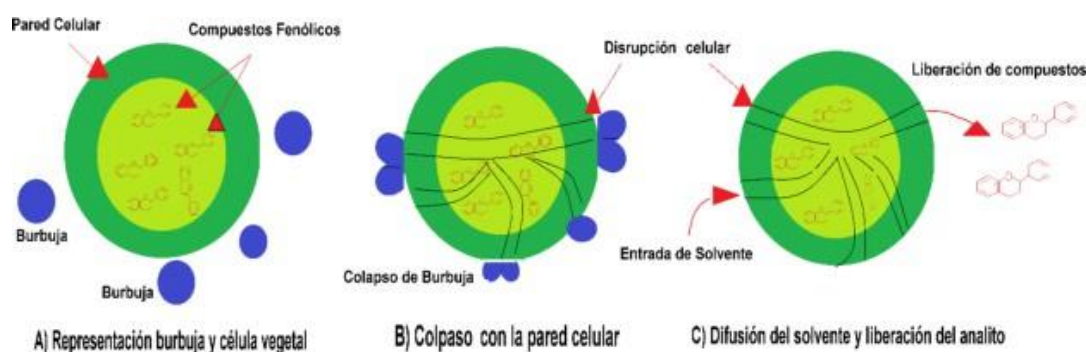


Figura 4. fenómeno de cavitación, colapso y liberación del material vegetal. Fuente: Medina Torres et al. 2017.

### 2.1.3. Extracción de compuestos valiosos de materiales alimentarios

La extracción de varios compuestos bioactivos originados en productos agroalimentarios depende en gran medida de la eficiencia y efectividad de los métodos de extracción seleccionados (Gallo, et. al. 2018). Se han utilizado métodos de extracción tradicionales o convencionales para extraer compuestos bioactivos de diversas fuentes naturales (Pimentel-Moral, et. al. 2018). Los parámetros de extracción se seleccionan de manera que permitan una separación simplificada de los componentes bioactivos con alta precisión y selectividad. El estudio realizado por da Rocha y Noreña (2020), extrajo compuestos bioactivos de orujo de uva utilizando tratamiento ultrasónico (250, 350 y 450 W durante 5, 10 y 15

minutos) y observó que la extracción realizada durante 10 minutos resultó en un contenido máximo de antocianinas (un 45% más). Además, los fenoles y antocianinas se extrajeron de cáscaras de jabuticaba utilizando un baño ultrasónico (a 25 y 40 kHz) y se observó que la extracción máxima tuvo lugar a 25 kHz durante 10 minutos de tiempo de exposición (Fernandes, et. al. 2020). Además, estudios similares también fueron realizados por Ochoa et al. (2020) y Chakraborty et al. (2020), para la extracción de compuestos bioactivos. Numerosos documentos en la literatura han documentado la aplicación de la extracción asistida por ultrasonido (UAE, por sus siglas en inglés) en relación con la reducción del ciclo de extracción en componentes naturales que requieren horas o incluso días con procesos tradicionales. Se extraen clases específicas de componentes como polifenoles, minerales odorantes, incluyendo sustancias orgánicas, utilizando matrices variadas a través de ultrasonido. Los resultados mecánicos muestran una máxima penetración del solvente dentro de las células al mejorar la difusión y el efecto de cavitación, permitiendo la ruptura de las paredes celulares además de liberar los compuestos en su medio (Dolatowski, et al. 2017). Por lo tanto, se obtienen mayores rendimientos con esta tecnología utilizando una duración más corta y condiciones de operación bajas (Vinatoru, 2018). Sin embargo, varios estudios informaron que la UAE representa otra alternativa a las técnicas tradicionales considerando alimentos y productos naturales que son ecológica y económicamente viables. Las principales ventajas son reducciones en el tiempo de operación y extracción, la cantidad y energía del solvente utilizado durante las operaciones unitarias y las emisiones de CO<sub>2</sub> (Bhargava, et. al. 2021). El método de UAE se ha empleado, por lo tanto, para modificar productos alimenticios y en el desarrollo de nuevos alimentos que no se pueden lograr mediante técnicas de extracción convencionales (Ashokkumar, 2018).

Además, el ultrasonido facilitó el procedimiento de detección y cuantificación en fósforo orgánico y pesticidas de triazina en muestras de vino, a través de su sensibilidad y naturaleza versátil. En particular, los

pesticidas se extrajeron utilizando microextracción por dispersión líquido-líquido asistida por ultrasonido (Cinelli, et. al. 2018).

#### 2.1.4. Propiedades funcionales de las proteínas.

Las principales fuentes de proteínas consumidas por el ser humano proceden de dos fuentes: la animal y la vegetal, siendo las raíces, los cereales y los tubérculos las principales fuentes vegetales que se encuentran con mayor frecuencia. En este contexto, existe una tercera fuente de proteína clasificada como no convencional, que incluye proteínas provenientes de microorganismos como bacterias, levaduras y algas (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

En cuanto a los nutrientes, las proteínas juegan un papel importante en el aporte de aminoácidos esenciales, donde su carencia puede ocasionar cambios bioquímicos y fisiológicos y una marcada disminución en la síntesis proteica (TIRAPEGUI, 2002).

Las propiedades funcionales han sido definida como cualquier propiedad de los alimentos o sus componentes, con excepción de las propiedades nutricionales, que influye en su aceptación y uso. Estas propiedades afectan las características nutricionales y sensoriales de los productos, además de tener un papel físico importante en la preparación, procesamiento o almacenamiento de los alimentos. Las propiedades de los componentes de los alimentos están relacionadas con: la capacidad de hidratación, las propiedades relacionadas con el tamaño y la forma y las propiedades superficiales de las moléculas (SEIBEL; BELÉIA, 2009).

Las propiedades funcionales de las proteínas que más se destacan son la solubilidad, gelificación, propiedades espumantes y emulsionantes, capacidad de absorción de agua y aceite. Entre todos, la solubilidad es la más compleja, ya que la mayoría de los desempeños funcionales de las proteínas están relacionados con su capacidad para hidratarse y solubilizarse en agua (BENELHADJ et al., 2016).

## A. Solubilidad

La capacidad de una proteína para dispersarse en una fase acuosa es una propiedad funcional esencial. La solubilidad indica qué tan bien la proteína puede interactuar con otros componentes presentes y permanecer en solución, lo que influye directamente en la calidad de los alimentos (por ejemplo, bebidas que contienen proteínas) en términos de turbidez y sedimentación, además, es un factor clave para las proteínas. exhibir características gelatinizantes, espumantes y emulsionantes y, por lo tanto, una disminución en la solubilidad de las proteínas afectará negativamente su funcionalidad. Por lo tanto, el conocimiento detallado sobre la solubilidad de las proteínas es importante para la formulación exitosa de nuevos alimentos con ingredientes innovadores, como los obtenidos a través de proteínas extraídas de microalgas (GROSSMANN et al., 2019).

En general, las proteínas exhiben una solubilidad mínima en agua cerca de su punto isoeléctrico (en el caso de *Spirulina platensis* a pH 3.0), donde las interacciones de atracción proteína-proteína se ven favorecidas debido a la falta de fuerzas electrostáticas repulsivas; (GROSSMANN et al. al., 2019).

La composición química de las microalgas, sus características morfológicas y estructurales también influyen en la eficiencia de la solubilización de proteínas, pudiendo aumentar la solubilidad de las proteínas en un medio alcalino.

La naturaleza y concentración de los iones ejercen efectos significativos sobre la absorción de agua y la solubilidad de las proteínas. A bajas concentraciones, las sales pueden estabilizar proteínas a través de interacciones electrostáticas no específicas, dependiendo únicamente de la fuerza iónica del medio.

En consecuencia, las concentraciones salinas dentro del rango de 0.5 a 1 mol/L (para sales neutras) pueden incrementar la solubilidad de las proteínas, lo que se conoce como efecto "salting in", debido al aumento de la solvatación. Sin embargo, cuando los niveles de sal

son más altos, predominan las interacciones agua-sal en lugar de las interacciones agua-proteína, lo que se conoce como efecto "salting out". Esto conlleva a una mayor interacción entre proteínas, que se vuelve más fuerte que la interacción proteína-agua, lo que resulta en la agregación y precipitación de las moléculas de proteína debido a la deshidratación causada por la sal. Este proceso contribuye a una disminución en la solubilidad de las proteínas. Por lo tanto, en un sistema de tres componentes, como proteína-agua-sal, comprender las interacciones preferenciales entre las proteínas y los componentes del solvente puede brindar información sobre cómo los aditivos afectan la solubilidad y estabilidad de las proteínas, (De Amarante et al., 2020).

La reducción en la solubilidad de las proteínas ocurre cuando aumenta la fuerza iónica de la solución, ya que la hidratación ayuda a estabilizar los iones en la solución. A medida que la concentración de sal aumenta, se reduce la cantidad de moléculas de agua disponibles, lo que afecta la solubilidad de las proteínas. Por lo tanto, la solubilidad de las proteínas es sensible a los cambios en la fuerza iónica del entorno. (Sílice, 2019).

Lozober et. al., (2021), encontró que la inclusión de iones divalentes, como el  $\text{CaCl}_2$  a una concentración de 0.02 mol/L, provocó un aumento en la turbidez y la absorbancia de la solución de proteína de Spirulina. Esto posiblemente se debió a la disminución de la solubilidad de la proteína y, como resultado, se formaron precipitados en la solución.

#### B. Influencia de la solubilidad en la funcionalidad tecnológica de proteínas.

La solubilidad representa una importante propiedad funcional de las proteínas, interfiriendo directamente con otras propiedades como la capacidad de emulsificación, formación de espuma y gelificación de las proteínas.

Debido a la inestabilidad de las emulsiones, es necesario utilizar emulsionantes para obtener emulsiones estables. Las proteínas son comúnmente utilizadas por la industria alimentaria debido a sus propiedades emulsionantes (Gupta et al., 2016).

Las proteínas poseen una afinidad tanto por la fase acuosa como por la fase oleosa, lo que resulta en una disminución de la tensión superficial entre estas dos fases. Esta propiedad les permite formar películas interfaciales cohesivas. La capacidad emulsionante de una proteína se refiere a la cantidad máxima de aceite que puede dispersarse en una unidad de fase acuosa, para una cantidad específica de proteína, bajo condiciones experimentales controladas. (Lam et. al. 2018) y por tanto, existe una relación directa entre la solubilidad de las proteínas en la fase dispersa y su eficiencia de emulsificación. En otras palabras, cuanto más solubles sean las proteínas en la fase dispersa, mayor será su capacidad para formar y estabilizar emulsiones de manera eficiente. (Tipwalee y Sasithorn, 2019).

La formación de espuma es un factor crucial para determinar la calidad de muchos productos alimenticios, ya que juega un papel fundamental en la creación de una textura deseable en los alimentos (Tipwalee y Sasithorn, 2019). La capacidad de una proteína para formar espuma se refiere a cómo su volumen se expande cuando se introduce aire a través de técnicas como batido, agitación o aireación. La estabilidad y resistencia de la espuma dependen de la flexibilidad y resistencia mecánica de la película que se forma con la proteína. Esta propiedad funcional de la interfaz está influenciada por factores como la solubilidad del medio, las características de la proteína, su estado de desnaturalización y la presencia de sales y otros aditivos utilizados en la producción de alimentos. La capacidad de formar espuma se evalúa comúnmente mediante dos parámetros: la espumabilidad y la estabilidad de la espuma. La estabilidad de la espuma se refiere a la capacidad de la espuma de retener su volumen máximo durante un período determinado, y generalmente



se evalúa midiendo la cantidad de líquido liberado por la espuma. (Tipwalee y Sasithorn, 2019).

La gelificación es una propiedad funcional clave de las proteínas, que les permite formar geles sólidos viscoelásticos. Además, la gelificación también mejora la capacidad de absorción de agua, actúa como un espesante, facilita la retención de partículas y estabiliza emulsiones y espumas. Varios estudios han demostrado que diferentes condiciones, como la concentración de proteínas, el pH, la fuerza iónica, la presencia de agentes reductores, agentes desnaturizantes y disolventes miscibles en agua, tienen un impacto significativo en la naturaleza de la gelificación. (Lozober et. al., 2021).

En este contexto, se concluye que los atributos sensoriales de los alimentos pueden verse afectados por las proteínas alimentarias, más específicamente por sus propiedades funcionales, sin embargo, a diferencia de las propiedades nutricionales, las propiedades funcionales de las proteínas de *Spirulina platensis* aún no son bien conocidas. Hasta el momento se han encontrado pocos trabajos respecto a estas propiedades, especialmente respecto a la solubilidad, ya que este índice constituye una propiedad funcional importante, ya que está directamente relacionado con otras características funcionales.

Aún así, las características de solubilidad sirven como índice para la optimización de los efectos de los procesos, indicando las ventajas y desventajas, sirviendo como guía para conocer la funcionalidad de la proteína.

Bashir, et. al. (2016), Investigaciones indican que las proteínas de *Spirulina platensis* presentan su máxima solubilidad en un intervalo de pH comprendido entre 8 y 10. Recientemente, Benelhadj et al. (2016) evaluaron el aislado de proteína *Spirulina platensis* y también encontraron mayor solubilidad a pH 10.0. A un pH cercano al punto

isoeléctrico, hubo una menor solubilidad de las proteínas, con una reducción en la formación de la interfase aceite/agua con la red proteica, reduciendo la capacidad de formar una emulsión. Además, observaron que la capacidad espumante también es dependiente del pH, ocurriendo el valor máximo de esta propiedad a pH 10, resultado del aumento de la carga líquida de las proteínas, reduciendo las interacciones hidrofóbicas, permitiendo una mayor flexibilidad de la proteína.

Lozober et. al., (2021) Se encontró que el concentrado de proteína obtenido a partir de *Spirulina platensis* disuelto a pH 9 presentó viscosidades más bajas. Esto se atribuye al aumento de la solubilidad de la proteína en estas condiciones. Por otro lado, se observó que el aislado de proteína de *Spirulina* tiene propiedades gelificantes favorables cuando se somete a un calentamiento a 90°C y luego se enfría a temperatura ambiente. Este proceso resulta en un aumento en la formación de una red elástica en el gel.

Recientemente, Lupatini (2016) observó que el pH influyó en las propiedades de capacidad de absorción de agua, capacidad de formación y estabilidad de espuma y emulsión, y capacidad de formación de gel de la biomasa de *Spirulina platensis*. La concentración de concentrado de proteína también interfirió en el desempeño de estas propiedades con mejores resultados a niveles de concentración más altos, excepto por la capacidad de absorción de agua y aceite. Además, concluyo que las proteínas de *Spirulina platensis* pueden contribuir a la formulación de alimentos, teniendo características efectivas para la formación de emulsiones, espumas o geles, así como ser utilizada como fuente suplementaria de proteínas.

Evidentemente, estas propiedades funcionales son importantes desde el punto de vista tecnológico, ya que las proteínas de *Spirulina platensis* pueden ser utilizadas como ingredientes alimentarios,

contribuyendo al procesamiento y características funcionales de los alimentos (LUPATINI et al., 2017).

## 2.2. Cushuro (*Nostoc sphaericum*).

*Nostoc* es una cianobacteria muy común tanto en ambientes terrestres como acuáticos. Se sabe que *Nostoc* forma macrocolonias visibles.

Estas cianobacterias son seres ubicuos, formadoras de colonias de tamaño microscópico en diversas zonas terrestres y bentónicas (Vílchez, 2017). Se desarrollan en ecosistemas con contenido de sulfato de magnesio, cloruro de calcio entre otros elementos presentes naturalmente en las lagunas. Resisten la radiación ultravioleta favoreciendo así la fotosíntesis.

Estos crecen en ecosistemas que contienen cloruro de calcio, sulfatos de magnesio y otros elementos que están en forma natural en las lagunas. Son resistentes a radiación ultravioleta, lo que favorece su fotosíntesis. Las semillas pueden permanecer en un estado de latencia durante períodos prolongados, hasta que las precipitaciones las hidratan nuevamente. (Gomez et. al., 2020)

Las cianobacterias *Nostoc*, cuyo contenido proteico es de 25,4 g, 1076 mg de calcio y 19,6 mg de hierro por cada 100 g de *Nostoc* en base seca, constituye una excelente alternativa (Ponce, 2014). En *Nostoc sphaericum* deshidratado Vaucher ex Bornet & Flahault, conocido como “cushuro”, Neyra (2019) obtuvo valores similares al cuantificar hierro (15.72 2.07 mg/100 g) y calcio (1260.13 35.80 mg Ca/100 g), mostrando el valor nutritivo de este alimento. *Nostoc* es una colonia de cianobacterias, cuando se hidratan pueden formar esferas de 10 a 25 mm de diámetro, similares a las uvas. Se encuentra en el piedemonte andino por encima de los 3000 m (Nesse, et.al. 2018). En Sudamérica también se le conoce como cushuro, murmunta, llullucha o llayta, conocida desde Centroamérica hasta Brasil, siendo consumida principalmente en Perú y Bolivia. Existe en Asia, incluidos China, Indonesia e India, y en Europa, incluidos Alemania, España y Francia.

Se encuentra en Sudáfrica y se utiliza como fertilizante natural (Ponce, 2014) En las montañas crece de forma silvestre cerca de ríos, lagos y lagunas del interior del país, especialmente en la región de la Puna (Jurado. Et. al. 2014) Estudios de Celis-Plá et al.(2021), Rosales-Loaiza et al.(2017), Ponce (2014), Chili-Rodríguez y Terrazas-Viza (2010) muestran que diferentes especies de cushuro recién cosechado contienen de 35 a 42% de proteínas. Según Alegre et al. (Alegre, et. al. 2020) los valores de carbohidratos alcanzaron 62.07 0.69%; los mismos autores encontraron valores de 0,21 a 0,03% de grasa, mientras que RosalesLoaiza et al. (2017) reportaron un valor máximo de 5.22 1.74%. Además, Macário et al. (2022) encontraron ácidos grasos 1-3 y 1-6 y minerales (Ca, P, Fe, Na, K), así como todos los aminoácidos esenciales y vitaminas B1, B2, B5 y B8 (Gomez, et. al. 2021) Las cianobacterias contienen compuestos bioactivos como ficobiliproteínas (especialmente C-ficocianina) y palmitato de metilo (C16:0) (Ruiz-Domínguez , et. al. 2021); Nostoc sp. contiene polifenoles, ficocianina y ácido ascórbico (Xu, et. al 2021; Celis-Plá et al. 2021; Li, et. al. 2020).

Estas propiedades podrían contribuir a mejorar el estado nutricional de las personas que consumen estos alimentos, especialmente en la lucha contra la anemia y en la mejora del estado nutricional de niños entre uno y tres años de edad. (Tafur y Obregón . 2019). Se han llevado a cabo numerosos estudios que destacan la importancia de las cianobacterias a nivel de microalgas. (Alvarado, & Rodriguez 2017). En cambio, existe poca información relacionada con la explotación de macroalgas a gran escala, por lo que investigaciones que contribuyan al conocimiento de las condiciones de vida y composición nutricional de las algas de agua dulce Nostoc sp. es necesario [20]. En una región donde este tipo de algas es abundante, sería de gran relevancia obtener información sobre esta especie de algas de agua dulce (Gomes, et. al 2020; Choque-Quispe, et. al 2022) Conocer las características nutricionales y las bases para establecer parámetros de cultivo para la pequeña y gran producción puede contribuir a erradicar problemas como la anemia y la

desnutrición, utilizando *Nostoc sp.* de los recursos hídricos de la Región Moquegua.

### 2.3. El ámbito de la Reología en la industria agroalimentaria

La disciplina de la Reología se centra en el estudio de la deformación de los cuerpos a través de diversos métodos físicos basados en ensayos instrumentales. Su aplicación implica la exploración de distintos materiales susceptibles a deformaciones controladas para comprender su respuesta ante dichos fenómenos, siendo los alimentos con estructuras complejas formadas por múltiples compuestos ejemplos destacados de tales materiales (Muller, 2016).

El objetivo del estudio reológico en alimentos es comprender las propiedades que rigen el comportamiento del material frente a la deformación o tensión. Este conocimiento desempeña un papel fundamental en la industria, ya que su comprensión se aplica en la planificación de procesos y diseño de equipos, cuyos principios de funcionamiento se fundamentan en los fenómenos de cantidad de movimiento y transporte (Steffe, 2015). Además, se reconoce su influencia en la determinación de la funcionalidad de ingredientes desde una perspectiva de innovación y desarrollo, así como en el control subsiguiente de la calidad (Cárcamo, 2015). La reología también facilita la comprensión de aspectos como la distribución de componentes macromoleculares, el grado de entrecruzamiento de polímeros y su elasticidad, la relación entre tamaño y forma molecular, y los cambios que experimentan durante el procesamiento (Muller, 2016).

#### 2.3.1. Clasificación reológica de los alimentos

La Reología clasifica los alimentos según sus propiedades físicas, como viscosidad y fluidez, y para aquellos más sólidos, se considera la elasticidad. Estas propiedades pueden describirse mediante diversos modelos numéricos que ayudan a interpretar su comportamiento bajo condiciones específicas (Cárcamo, 2015).

Según el comportamiento reológico de la ley de Newton de la viscosidad, los alimentos pueden categorizarse como newtonianos o no newtonianos. Si la deformación está sujeta a la influencia del tiempo, se denominan reopécticos o tixotrópicos. Por último, existen aquellos con propiedades de un fluido viscoso y un sólido elástico simultáneamente, conocidos como viscoelásticos (Barbosa, 2016). Para analizar el comportamiento reológico de los materiales, se emplean comúnmente gráficos llamados reogramas, donde la dependencia se establece mediante el esfuerzo cortante frente a la velocidad o la relación de deformación aplicada al material (Martínez, 2018). Es relevante destacar que un comportamiento reológico no excluye a otro, ya que algunos alimentos pueden presentar características de espesamiento y, al mismo tiempo, mostrar afinidad con el tiempo de deformación, mientras que otros no experimentan cambio alguno (Oliveros y Gunasekan, 2016).

### 2.3.2. Fluidos Newtonianos

Los fluidos newtonianos son materiales cuya resistencia a la deformación permanece constante a una temperatura específica. Los esfuerzos cortantes aplicados generan tasas de cambio directamente proporcionales a la velocidad de deformación. Gráficamente, al dividir la velocidad de deformación y el esfuerzo cortante, se obtiene una ecuación lineal con la viscosidad como intercepto en el eje (Steffe, 2015). Internamente, se caracterizan por carecer de estructuras y presentar cadenas moleculares cortas de menos de 1000 átomos.

En términos generales, para que un fluido sea considerado newtoniano, sus suspensiones macromoleculares internas deben tener una estructura discontinua y sin un orden establecido. Además, las partículas deben comportarse rígidamente, sin interactuar entre sí ni mostrar comportamientos ajenos frente a la velocidad de flujo (Muller, 2016).

Algunos fluidos alimenticios clasificados como newtonianos incluyen cremas con cierto contenido graso, aceite de oliva, geles alimenticios, vinos y miel (Qixin, 2019). Otros, como agua, té, café, cerveza, gaseosas, jugos industriales, leche, aceites comestibles y almíbar de

azúcar, también se encuentran en este grupo (Bourne, 2017). Estos últimos son más notables por su fluidez debido a su rápido movimiento en comparación con los más espesos.

### 2.3.3. Fluidos No Newtonianos

A diferencia de los fluidos newtonianos, los no newtonianos son materiales con una viscosidad aparente que depende de la velocidad de deformación y el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante. Estructuralmente, estos fluidos se caracterizan por tener dispersiones acuosas internas, suspensiones de sólidos en la matriz o emulsiones de líquidos que forman asociaciones estables (Quintáns, 2018).

Estos fluidos pueden clasificarse según su comportamiento frente al tiempo de deformación, dividiéndose en tixotrópicos y reopécticos. Los tixotrópicos experimentan dilución ante el esfuerzo de corte, seguido de un proceso de fraccionamiento molecular y reconstitución estructural con el tiempo. Presentan una matriz reversible que recupera su consistencia original al finalizar la deformación (Holdsworth, 2010).

Por otro lado, los reopécticos, al depender del tiempo, tienden a experimentar un espesamiento con la velocidad de deformación. Implica una reorganización estructural del fluido que resulta en un aumento notable de la resistencia al flujo (Ibarz et al., 1992).

Existen también fluidos plásticos, independientes del tiempo, cuya elasticidad se manifiesta por debajo de un umbral definido de fluidez. Su estructura es enredada y compleja, interviniendo generalmente dos fases, como en emulsiones y suspensiones (Cheftel et al., 1983). Dentro de este grupo se encuentran los fluidos pseudoplásticos y dilatantes. La pseudoplasticidad se caracteriza por la disminución de la viscosidad con el aumento del esfuerzo de corte (Mukprasirt et al., 2017). Los fluidos pseudoplásticos alimenticios incluyen pastas como la de avellanas, puré de plátano, salsa de vinagreta, chocolate derretido y panqueques.

Además, hay fluidos que necesitan superar un umbral inicial para iniciar el flujo, comportándose como un fluido newtoniano una vez superado este valor crítico. Esto se conoce como viscosidad plástica, y salsas de



tomate, mayonesa, clara de huevo batido y margarina son ejemplos de este grupo reológico (Bourne, 2017).

En resumen, los fluidos no newtonianos son prevalentes en plantas industriales, y comprender su correcto comportamiento es esencial para evitar errores significativos en el dimensionamiento y las operaciones de transformación (Bourne, 2017).

#### 2.3.4. Parámetros Reológicos

Los modelos más sencillos de los líquidos o semilíquidos no newtonianos consideran al menos dos parámetros reológicos en su estructura. El primero es un coeficiente que indica el grado de consistencia o viscosidad de la matriz, obtenido a partir de la velocidad de deformación en el medio y el esfuerzo de corte. El segundo es un índice sin unidades que indica la afinidad hacia el flujo newtoniano (Barnes, 2017). Estos parámetros pueden determinarse a partir de gráficos de los logaritmos del esfuerzo de corte y la velocidad de deformación mediante la linealización de la ecuación de la potencia. El intercepto y la pendiente resultantes modelan los parámetros reológicos buscados.

##### - Índice de Fluidez

El índice de fluidez, representado como  $n$ , es una cifra adimensional que resume la cercanía o afinidad al flujo newtoniano. Los líquidos newtonianos presentan un valor de  $n$  igual a 1. Cuanto más cerca esté el valor de 1, la curva tenderá a presentarse de forma lineal, indicando viscosidad constante en la gradiente de deformación aplicada (Bourne, 2017).

Cuando el índice de fluidez supera la unidad, el fluido se clasifica como dilatante, caracterizado por un espesamiento en el tiempo. En el caso de los fluidos pseudoplásticos, donde  $n$  es menor a 1, la matriz interna tiende a un adelgazamiento. Cuando  $n$  es negativo, la degradación molecular, la disipación viscosa, el deslizamiento del fluido a lo largo de la pared capilar y la influencia de un esfuerzo de corte inicial determinan el fenómeno interno de la matriz. El índice de fluidez también se ve afectado por parámetros como la temperatura, disminuyendo a medida

que esta aumenta y aumentando con el contenido de sólidos (Wagner et al., 2017).

- Índice de Consistencia

Representado como  $K$ , el índice de consistencia tiene unidades de Pasn y actúa como una constante de proporcionalidad entre las variables de velocidad de deformación y el esfuerzo de corte aplicado. Indica el grado de viscosidad en los fluidos no newtonianos, siendo su equivalente a la viscosidad en los fluidos newtonianos (Steffe, 2015). El aumento del índice de consistencia señala un aumento del contenido de sólidos o la disminución del tamaño de partículas en la matriz alimenticia. En cambio, aumenta con la temperatura.

- Umbral de Fluidez

Algunos modelos reológicos incorporan el esfuerzo cortante límite, también llamado umbral de fluencia, en su formulación. Este es el esfuerzo necesario para iniciar el flujo del material. La interpretación física está relacionada con el nivel de estructura interna que debe ser destruido o removido antes de que pueda ocurrir el flujo. Este nivel de estructura interna puede ser enredos físicos, interacciones químicas y físicas, y compactación en respuesta a la eliminación de líquidos. La existencia de un umbral de fluidez es una consideración importante en ingeniería, especialmente en el diseño de procesos.

Este nivel de estructura interna responde a diversas conformaciones, como los enredos físicos de moléculas o partículas de gran tamaño, así como al alto grado de ramificación de formas irregulares. También se atribuye a la generación de estructuras radicales causadas por interacciones químicas y físicas, tales como las iónicas, covalentes o secundarias intermoleculares. Además, incluye el compactamiento como respuesta a la eliminación de líquidos y al aumento de la capacidad de interacción no específica entre las partículas (Rha, 2016). Fischer y Windhab (2018) indican que el desglose estructural provocado por la deformación resultará en una estructura diferente a la original en el alimento. La condición para iniciar una transición de flujo se denomina umbral de fluidez, que distingue entre el flujo viscoso y viscoelástico.+

#### - Viscosidad aparente

Se encuentran diversas dispersiones acuosas o emulsiones de líquidos interactuantes en matrices de otros líquidos, donde la viscosidad depende exclusivamente de la interacción de la velocidad de fluidez. Es decir, pierde la característica de ser constante a medida que transcurre el tiempo de deformación (Bourne, 2017). Esta variación de la viscosidad también se conoce como viscosidad aparente y se define matemáticamente como la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte (Bourne, 2017).

En los fluidos newtonianos, la viscosidad aparente y la newtoniana no difieren, ya que no experimentan cambios en esta característica (viscosidad) con el tiempo. Sin embargo, en aquellos que siguen la ley de la potencia, se pueden distinguir dos grupos principales en función del comportamiento de la viscosidad aparente. Así, los primeros presentarán viscosidades bajas a altas velocidades de deformación, denominándose fluidos pseudoplásticos, mientras que los segundos mostrarán un aumento de la viscosidad con tasas de velocidad de corte crecientes, clasificándose como fluidos dilatantes (Bourne, 2017).

#### 2.3.5. Modelos reológicos para fluidos no dependientes del tiempo

Debido a la compleja estructura y composición de la mayoría de los alimentos, que incluye una variedad de componentes, su modelado en términos estructurales se vuelve complicado (Steffe, 2015). Para comprender la relación entre las propiedades reológicas y las estructuras de los alimentos, se utiliza una aproximación que implica la idealización de sus componentes y conformaciones internas (Bourne, 2017). Este proceso conduce al desarrollo de modelos matemáticos (ver Tabla 1) que describen los esfuerzos generados como resultado de la deformación aplicada durante el flujo; se denominan ecuaciones constitutivas. Se han propuesto diversas ecuaciones constitutivas para prever el comportamiento de los fluidos no dependientes del tiempo, todas ellas involucrando la interacción de constantes reológicas fundamentales ( $n$  y  $K$ ). Aunque estas ecuaciones permiten anticipar el comportamiento en condiciones específicas, no son determinantes, ya

que el comportamiento viscoso del material no está completamente definido para todo el rango de la ecuación. En cambio, ofrecen una perspectiva de cómo el material puede comportarse en ciertos casos o rangos de estudio, sin proporcionar una definición numérica total del modelado (Oliveros y Gunasekan, 2016).

Tabla 1. Modelos reologicos para fluidos no newtonianos independientes del tiempo

Denominación	Ecuación	Descripción
Modelo de Bingham	$\sigma = n_{pl} \cdot \gamma + C$	2 parámetros
Modelo de Ostwald	$\sigma = k \cdot \gamma^n$	2 parámetros
Herschel-Bulkley	$\sigma = k \cdot \gamma^n + C$	3 parámetros
Modelo de Casson	$\sigma^{0,5} = k_1 + k_2 \cdot \gamma^n \cdot n \cdot \gamma^{0,5}$	3 parámetros
Ecuación de Casson modificado	$\sigma^{0,5} = k_1 + k_2 \cdot n \cdot \gamma^m$	3 parámetros
Ecuación de Elson	$\sigma = \mu \cdot \gamma + B \cdot \operatorname{senh}^{-1} + \sigma_0$	3 parámetros
Modelo de Vocadlo	$\tau = (\tau_0^{\frac{1}{n}} + k \cdot \gamma)^n$	3 parámetros
Modelo de Shangraw	$\sigma = a\gamma + b(1 - \exp(-c\gamma))$	2 parámetros
Modelo de Ellis	$\tau = \frac{n}{(1 + (\frac{\tau_0}{\tau_1})^{\frac{1}{2}})^{\frac{1}{n}}}$	2 parámetros
Modelo generalizado	$\tau = \frac{1}{n_0} \left( \frac{1 + (\frac{\tau_{rz}}{\tau_m})^{\alpha-1}}{1 + ((\frac{\tau_{rz}}{\tau_m})^{\alpha-1})^{\frac{n_\infty}{n_0}}} \right)$	4 parámetros
Modelo de Sutterby	$\tau = -\mu \left( \frac{\operatorname{arcsen} \beta \gamma}{\beta \gamma} \right)^{\alpha} \dot{\gamma}$	3 parámetros
Ley de la potencia	$\tau = -\mu \left( \frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^{n-1} \dot{\gamma}$	3 parámetros
Modelo de Williamson	$\tau = A \left( \frac{\gamma}{B + \gamma} \right) + \mu_\infty \gamma$	3 parámetros
Modelo de Sisko	$\tau = A \cdot \gamma + B \cdot \gamma^n$	3 parámetros

Fuente: Steffe (2015).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS**

##### **3.1.1. MATERIA PRIMA**

- 100 kg. De Cuschuro

#### **3.2. MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **3.2.1. MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS**

- Placas Petri
- Vasos de precipitado 100 ml
- Fiola 100 ml
- Matraz Kitasato 250 ml
- Papel filtro
- Tubos de ensayo

##### **3.2.2. REACTIVOS**

- Hexano ( $C_6 H_{14}$ )
- Ácido Sulfúrico ( $H_2 SO_4$ )
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Ácido Bórico ( $H_3BO_3$ )
- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Agua destilada

##### **3.2.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

- Balanza de precisión electrónica 360 g. Marca: Precisa, Modelo: XB 320M SCS, Procedencia: Suecia.
- Agitador magnético con plancha de calentamiento. Marca: IKA, Modelo: C-MAG HS7, Procedencia USA.
- Analizador de Humedad. Marca: Precisa, Modelo: XM50, Procedencia: Suecia.
- Balanza Analítica, Marca: Precisa, Modelo: LX220A, Procedencia: Suecia.
- Digestor Khenjdal, Marca: Foss modelo: Kjeltex 8400, Procedencia: Dinamarca
- Cabina extractora de gases, Marca CHC LAB, Modelo: CLE 101-05, Procedencia: Korea.

- Sistema extractor de grasas, Marca: FOSS, Modelo: SOXTEC, Procedencia: China.
- Medidor de pH y conductividad, Marca: Thermo scientific, Modelo: ORION STAR A211, Procedencia: Singapur.
- Esterilizadora digital a calor seco, Marca: Poleko Aparatura, Marca: SLN 115 STD INOX-G, Procedencia: Polonia.
- Equipo de baño Maria, Marca: Cole Parmer, Modelo: 8892.
- Centrifuga digital refrigerada, Marca: Sartorius, Modelo: SIGMA-2-16PK. Molino, Marca: Ika, Serie: M 20 S0000
- Sistema extractor de grasas Soxtec, Marca: Foss, Serie: 204300089, Procedencia: Dinamarca
- Ultrasonic Cleaner Cole- Parmer, Mod. 08892-26, Serie QPC010698219F

### **3.4. PROCEDIMIENTO**

#### **3.4.1. Extracción de proteína de cushuro**

##### **a. Extracción Alcalina de proteína de cushuro**

Para evaluar la influencia del pH en el proceso de extracción alcalina, se probó dos condiciones (pH 8 y 9). Para ello se seguirá la metodología descrita por Joshi et al., (2011) con adaptaciones. La harina de cushuro se dispersó en agua desionizada en una proporción de 1:10 (m/m). Luego se ajustó el pH (8.0 o 9.0) con solución de NaOH 1M y se agitó magnéticamente a 25 °C y 600 rpm durante 120 minutos. Luego, los sólidos insolubles se eliminaron por centrifugación a 10.000 rcf durante 20 min a 4°C. El sobrenadante se utilizó para cuantificar las proteínas extraídas por el método micro-Kjeldahl (AOAC 960.52-1961-2010) con un factor de corrección de nitrógeno a proteína de 6,25.

#### **b. Extracción alcalina asistida por ultrasonido**

Para evaluar la influencia del tiempo de sonicación en la extracción de proteína de cushuro, se evaluó 3 tiempos de extracción y 2 frecuencias (baja y alta) de sonicación. La harina de cushuro se dispersó en agua desionizada en una proporción de 1:10 (p/p). Luego, el pH se ajustará a 9,0 con una solución de NaOH 1M. Se usó una sonda de titanio de 13 mm de diámetro para sonificar la dispersión durante 10 minutos, con control de temperatura mediante un baño de hielo. Luego del proceso de sonicación, la dispersión se dejó en agitación magnética a 25 °C y 600 rpm durante 120 minutos para la solubilización de la proteína. Los sólidos insolubles se eliminaron por centrifugación (10000 rcf durante 20 min a 4°C) y el sobrenadante se utilizó para determinar las proteínas solubilizadas por el método micro-Kjeldahl (AOAC 960.52-1961-2010) con un factor de corrección de nitrógeno a proteína de 6,25.

#### **c. Obtención del aislado de proteína**

Después de determinar las mejores condiciones para la extracción alcalina, la extracción alcalina asistida por ultrasonido, se obtuvieron los aislados de proteína. Para ello se ajustó el pH del sobrenadante rico en proteína solubilizada obtenido de los diferentes procesos descritos con anterioridad a pH de 4,2 con una solución de HCl 1M, punto isoeléctrico medio de las proteínas de Cushuro. Para ayudar a la precipitación de proteínas, la solución se centrifugó nuevamente (10000 rcf durante 20 min a 4°C). Después de la centrifugación, el precipitado se resuspendió en agua desionizada y el pH se ajustará a 7,0 para su posterior liofilización.

### 3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.5.1. Caracterización funcional de la proteína de cushuro

##### a. Capacidad de retención de agua.

La determinación de la capacidad de retención de agua siguió la metodología descrita por Genro, (2018), con modificaciones. Se utilizó una proporción de 1:6. (aislado de proteína de Cushuro). Primero se pipetearon 6 mL de agua a un tubo Falcon de 15 mL y luego se pesó 1,0 g de la muestra PIS, la muestra se pesó en una balanza analítica. El tubo con la muestra se agitó durante un minuto a velocidad 1 y se dejó reposar durante 30 minutos a  $25 \pm 2$  °C. Luego se centrifugó la muestra a una velocidad de 3000rpm durante 15 minutos. Después de la centrifugación, se pesó en un vaso de precipitados tarado la cantidad de agua que no fue absorbida (sobrenadante) por la muestra en el tubo Falcon. Los resultados calculados se expresaron en ml/g.

$$\text{ml/g} = \frac{\text{peso de agua no absorbida (g)}}{\text{peso de muestra (g)}}$$

##### b. Capacidad de retención de grasa

La determinación de la capacidad de retención de grasa también siguió la metodología descrita por Genro (2018)., con modificaciones. Se utilizó una proporción de 1:6 (proteína y grasa de Cushuro aisladas). La grasa se mantuvo en baño maría a 25° C para evitar que solidificara, se pipetearon 6 mL de grasa a un tubo Falcon de 15 mL y luego se pesó 1,0 g de muestra de PIS en una balanza analítica. La muestra se agitó a velocidad 1 durante 1 minuto y se mantuvo en reposo durante 30 minutos en un baño de agua a 25 °C.

La muestra se centrifugó a una velocidad de 3000rpm durante 15 minutos. Después de la centrifugación, se pesó en un vaso de precipitados la cantidad de grasa que no fue absorbida por la muestra (sobrenadante) en el tubo Falcon. Los resultados calculados se expresaron en ml/g



$$\text{CIE } L^* = 100 \sqrt{0.040949 + \frac{0.37865}{1 + 0.89807 C} \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^2 - 0.0001436 C} - 0.0750004 C$$

**c. Análisis de color**

Para evaluar la diferencia de color de cushuro y los extractos proteicos obtenidos a partir de estas, se utilizó un colorímetro (modelo CR-400, Konica Minolta Sensing Inc.), para medir los parámetros L\*, a\* y b\* (CIELAB), donde L\* indica la luminosidad; a\* va de valores negativos (verde) a valores positivos (rojo) y b\* va de azul (valores negativos) a amarillo (valores positivos).

**d. Capacidad de absorción de agua (CA<sub>agua</sub>) y aceite (CA<sub>aceite</sub>)**

CA<sub>agua</sub> y CA<sub>aceite</sub> se determinaron según la metodología de Chen et al. (2019) y Menegotto et al. (2019), con modificaciones. Para CA<sub>agua</sub>, se realizaron dispersiones de 0,05 g de cada muestra de extracto proteico en 10 g de agua ultrapura. Luego, la muestra se agitó durante 2 minutos, se dejó reposar durante 80 minutos y se centrifugó (1800 g, 25 °C, 15 minutos). El sobrenadante obtenido fue cuidadosamente escurrido y pesado. Los resultados se determinaron de acuerdo con la Ecuación.

$$CA_{\text{agua}} \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Peso}_{\text{agua}} - \text{Peso}_{\text{extracto}}}{\text{Peso}_{\text{extracto}}}$$

El CA<sub>aceite</sub> se determinó según la metodología de Chen et al., (2019) y Menegotto et al., (2019), con modificaciones. Se realizaron dispersiones de 0,05 g de cada muestra de extracto proteico en 10 g de aceite. Luego, las muestras se agitaron durante 2 minutos en Vortex, seguido de reposo durante 30 minutos y centrifugación (1800g, 25 °C, 15 minutos). El sobrenadante obtenido fue cuidadosamente escurrido y pesado. CA<sub>aceite</sub> se determinó de acuerdo con la ecuación

$$CA_{\text{aceite}} \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Peso}_{\text{aceite}} - \text{Peso}_{\text{extracto}}}{\text{Peso}_{\text{extracto}}}$$

**e. Comportamiento reológico la proteína de cushuro.**

La determinación del comportamiento reológico de una proteína extraída de cushuro utilizando un reómetro rotacional implica los siguientes pasos:

- Preparación de la muestra: Se prepara una solución de la proteína extraída de cushuro en un disolvente adecuado, generalmente agua. La concentración de la solución de proteína puede variar dependiendo del objetivo del estudio y las propiedades reológicas esperadas. Por lo general, se realizan mediciones en un rango de concentraciones para evaluar el efecto de la concentración en el comportamiento reológico.
- Configuración del reómetro rotacional: Se ajustan los parámetros del reómetro rotacional de acuerdo con las características de la muestra y las propiedades reológicas que se deseen medir. Esto incluye la selección del tipo de geometría (por ejemplo, platos paralelos, conos y placas, cilindros concéntricos), el tamaño y la separación de los elementos de la geometría, y la velocidad de rotación.
- Calibración: Antes de realizar las mediciones, se realiza una calibración del reómetro rotacional para garantizar mediciones precisas. Esto implica verificar la precisión de la velocidad de rotación y la temperatura, y calibrar la geometría del reómetro utilizando un líquido de referencia de viscosidad conocida.
- Mediciones reológicas: Se llevan a cabo las mediciones reológicas utilizando el reómetro rotacional. A continuación, se describen algunas de las pruebas comunes que se realizan:

- Prueba de barrido de velocidad de corte: Se realizan mediciones de viscosidad a diferentes velocidades de corte para evaluar la dependencia de la viscosidad con la velocidad de corte. Esto proporciona información sobre el comportamiento de flujo de la proteína.
- Análisis de datos y determinación de parámetros reológicos: Los datos obtenidos se analizan para determinar los parámetros reológicos relevantes. Estos pueden incluir la viscosidad aparente en función de la velocidad de corte, el índice de consistencia, índice de comportamiento al flujo y la pseudoplásticidad de la proteína.

### **3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se aplicó un diseño factorial  $3^k$ , donde el valor de  $k$  será igual a 2, ya que tiene 2 variables independientes que fueron Temperatura y tiempo de sonicación, cada variable a 3 niveles (-, 0, +) y como variables dependientes fue rendimiento de extracción, propiedades funcionales y comportamiento reológico de la proteína extraída. En la tabla 2 se presenta la matriz de operacionalización de las variables de estudio.

**Tabla 2: Matriz de operacionalización de Variables de estudios**

<b>Variable Independiente</b>	<b>Niveles</b>		
Tiempo de sonicación (t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> )	30 min.	50min.	70min.
Temperatura (T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> )	30 °C	40°C	50°C
<b>Variable Dependiente</b>	<b>Indicador</b>		
Rendimiento de extracción (%)	$\% \text{ R} = \frac{\text{mg de extracto}}{\text{mg de muestra} \times \text{h}} \times 100\%$		
Propiedades Funcionales y tecnológicas.	Capacidad de absorción de agua (CA <sub>agua</sub> ), % Capacidad de absorción de aceite (CA <sub>aceite</sub> ), % Color: Luminosidad (L*) y Cromaticidad (a*, b*) Capacidad Antioxidante (mg de trolox/100g)		
Comportamiento reológico	Parámetros reológicos: Índice de consistencia, Índice de comportamiento al flujo, Energía de activación.		

Se aplicó un diseño factorial 3<sup>K</sup>, se realizó un análisis de varianza para determinar la significancia estadística de las variables estudiadas. Se empleó el estadístico P-valor con una confiabilidad de 95%. En la tabla 2 se presenta la matriz de experimentos del diseño factorial 3x3, con 2 réplicas. El análisis de datos se realizó en el Design Expert 11.

**Tabla 2: Matriz experimental de diseño factorial 3<sup>k</sup>**

Tratamiento	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Tiempo de sonicación (minutos)	Temperatura de sonicación (°C)
1	-1	-1	30	30
2	-1	0	30	40
3	-1	+1	30	50
4	0	-1	50	30
5	0	0	50	40
6	0	+1	50	50
7	+1	-1	70	30
8	+1	0	70	40
9	+1	+1	70	50
10	-1	-1	30	30
11	-1	0	30	40
12	-1	+1	30	50
13	0	-1	50	30
14	0	0	50	40
15	0	+1	50	50
16	+1	-1	70	30
17	+1	0	70	40
18	+1	+1	70	50

### **3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO**

Se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando el programa, Design Expert 11, con el objetivo de determinar los efectos de las variables independientes. Esto se hizo con el fin de verificar si existía alguna discrepancia significativa ( $p > 0,05$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Características fisicoquímicas y composición proximal de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

En la tabla 3, se presenta la composición proximal del cushuro deshidratado.

**Tabla 3:** Composición Proximal de cushuro (*Nostoc sphaericum*) deshidratado

<b>Componente (%)</b>	<b>Cushuro Deshidratado</b>
<b>Humedad</b>	11.33 ± 1.28
<b>Proteína</b>	45.47 ± 0.72
<b>Grasa</b>	0.52 ± 0.04
<b>Cenizas</b>	6.46 ± 1.12

Con un contenido de humedad del 11.33%, se evidencia un proceso de deshidratación efectivo, otorgándole mayor durabilidad. La proteína emerge como el componente dominante, registrando un notable 45.47%, confirmando la afirmación de Capcha et al. (2020) sobre el *Nostoc sphaericum* como un alimento altamente nutritivo con elevado contenido proteico. En contraste, el nivel de grasa se mantiene en un modesto 0.52%, aunque superior a las estimaciones previas de Alvarado y Rodriguez (2017), indicando posibles variaciones en la composición dependientes de factores ambientales y procesos de transformación. El contenido de cenizas, reflejado en un 6.46%, revela una proporción importante de componentes inorgánicos. La variabilidad en este contenido, mencionada por Fernández y Suyón (2018), se atribuye a las condiciones específicas del entorno donde el cushuro se desarrolla, influenciando las características físicas y químicas del agua y suelo circundantes. Los resultados obtenidos son consistentes con estudios anteriores, como los de Muñoz (2021) y Alegre et al. (2020), quienes reportaron valores similares de humedad ( $6.17 \pm 1.78\%$ ) y cenizas ( $7.7 \pm 0.01\%$ ). Sin embargo, se destaca una discrepancia significativa en el contenido lipídico en comparación con las estimaciones previas de Alvarado y Rodriguez (2017). Los antecedentes indican la variabilidad en los contenidos, especialmente en cenizas, atribuyendo estas diferencias a las

condiciones ambientales del lugar de origen del cushuro. Además, se advierte sobre la posibilidad de alteraciones en los componentes durante el proceso de secado, como la desnaturalización de proteínas y la consiguiente disminución de su concentración, una consideración importante según Fernández y Suyón (2018). El cushuro deshidratado se revela como una fuente rica en proteínas con bajos niveles de grasa, evidenciando coherencia en sus niveles de humedad y cenizas en comparación con estudios previos. La variabilidad en los contenidos se vincula a factores ambientales, y se destaca la importancia de considerar el impacto del secado en la composición del cushuro, como señalado por la literatura consultada.

#### **4.2. Procesos de extracción por Ultrasonido de las proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*)**

En el estudio sobre la extracción de proteínas del cushuro mediante ultrasonido, se evaluaron dos variables clave: el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación, con niveles bajos y altos para cada una. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4 de efectos estimados para el porcentaje de proteína extraído, la cual brinda información sobre cómo estas variables afectan el proceso. El porcentaje promedio de proteína extraído mediante ultrasonido fue aproximadamente del 30.67%. Se observó que el tiempo de sonicación tuvo un efecto significativo, con un estimado de 20.22 en el porcentaje de proteína extraído. Por otro lado, la temperatura de sonicación también influyó, mostrando un efecto estimado de 6.71.

**Tabla 4:** Efectos estimados para el Porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	30.6694	3.54635	
A:Tiempo de sonicación (min)	20.2167	3.88483	1.0
B:Temperatura de sonicación (°C)	6.71	3.88483	1.0
AA	-6.27333	6.72873	1.0
AB	7.45	4.75793	1.0
BB	6.42667	6.72873	1.0
bloque	-0.27	3.17195	1.0

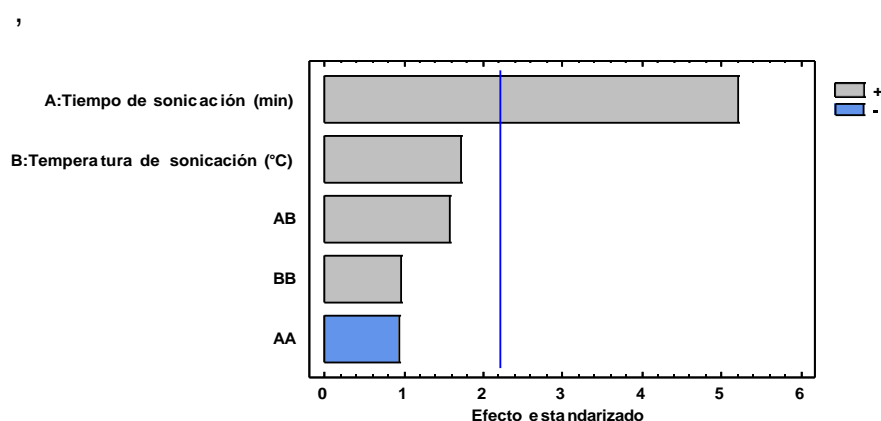
Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

La interacción entre el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación resultó ser significativa, evidenciada por un estimado de 7.45 en el efecto AB (interacción entre tiempo y temperatura). Esto sugiere que la combinación de estos dos factores tuvo un impacto adicional en la extracción de proteínas en comparación con los efectos individuales. Se identificó un término de bloque con un efecto estimado de -0.27, lo cual podría indicar una influencia moderada en el porcentaje de proteína extraído. Este término y los errores estándar asociados proporcionan información sobre la variabilidad y la precisión de las estimaciones. Un aspecto positivo a destacar es que todos los factores de inflación de varianza (V.I.F.) fueron iguales a 1.0, indicando que el diseño experimental fue ortogonal y no hubo confusión significativa entre los efectos. Esto fortalece la validez de las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos.

En la figura 5 presenta el gráfico de Pareto para los efectos estimados para el porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*), en el cual se puede observar que el tiempo y la temperatura tienen un efecto negativo en el porcentaje de extracción de proteína, siendo mayor el efecto el tiempo de extracción. Al analizar el tiempo de sonicación, se observa que un aumento desde el nivel bajo hasta el nivel alto resulta en un incremento estimado de alrededor de 20.22 unidades en el porcentaje de proteína extraído.



De manera similar, el aumento de la temperatura de sonicación desde el nivel bajo hasta el nivel alto contribuye con aproximadamente 6.71 unidades adicionales en el porcentaje de proteína extraído, según el efecto estimado correspondiente. La interacción entre el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación, representada por el efecto AB (7.45), indica que la combinación de niveles altos de ambas variables tiene un efecto adicional positivo en la respuesta, sugiriendo que el impacto conjunto es más significativo que la suma de los efectos individuales.



**Figura 5:** Diagrama de Pareto para los efectos estimados para el Porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

En comparación con otras condiciones experimentales o métodos de extracción, estos resultados podrían ofrecer una guía valiosa para optimizar el proceso de extracción de proteínas del cushuro por ultrasonido. La significativa interacción entre el tiempo y la temperatura destaca la importancia de considerar estos factores en conjunto para obtener los mejores rendimientos. El uso de ultrasonido ha resultado en un mayor rendimiento de extracción, atribuido a la rápida formación y colapso de las burbujas de gas generadas por las ondas ultrasónicas en la superficie celular de la muestra. Además, se observa la formación de microchorros y microturbulencias que ejercen un alto cisalhamiento y fuerza mecánica, ocasionando la ruptura de la membrana y la pared celular. De esta manera, el solvente circundante puede penetrar efectivamente en las células a través de las aberturas generadas por el ultrasonido, liberando las proteínas intracelulares en el solvente (Kumar et al., 2021). Sin embargo, es importante señalar que el tratamiento con ultrasonido

de alta intensidad durante períodos más prolongados puede generar condiciones de alta temperatura y presión, capaces de modificar el estado nativo de la proteína. Por lo tanto, la frecuencia, potencia, intervalo de tiempo, temperatura, pH, proporción e intensidad del ultrasonido se convierten en factores esenciales para su uso. Es imperativo optimizar estas condiciones de tratamiento, especialmente al considerar aplicaciones específicas de ultrasonido, con el objetivo de obtener resultados satisfactorios (Kadam et al., 2015).

La tabla 4, de Análisis de Varianza ofrece una visión detallada sobre la influencia de las variables, específicamente el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación, en el porcentaje de proteína extraído mediante ultrasonido en el cushuro (*Nostoc sphaericum*).

**Tabla 5:** Análisis de Varianza para Porcentaje de Proteína extraído por ULTRASONIDO de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo de sonicación (min)	1226.14	1	1226.14	27.08	0.0003
B:Temperatura de sonicación (°C)	135.072	1	135.072	2.98	0.1121
AA	39.3547	1	39.3547	0.87	0.3712
AB	111.005	1	111.005	2.45	0.1457
BB	41.302	1	41.302	0.91	0.3600
bloques	0.32805	1	0.32805	0.01	0.9337
Error total	498.033	11	45.2757		
Total (corr.)	2051.24	17			

R-cuadrada = 85.7203 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 72.4769 por ciento

Error estándar del est. = 6.72873

Error absoluto medio = 4.43432

Estadístico Durbin-Watson = 3.42953 (P=0.9956)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.743797

La suma de cuadrados para el tiempo de sonicación es significativamente alta, indicando su impacto considerable en el porcentaje de proteína extraído. La razón-F de 27.08 y el valor-p de 0.0003 refuerzan la significancia estadística de este factor, sugiriendo una fuerte influencia del tiempo de sonicación en la extracción de proteínas. En contraste, la suma de cuadrados para la temperatura de sonicación es menor, y su razón-F de 2.98 con un valor-p de 0.1121 sugieren que este factor no es estadísticamente significativo en relación con la variable de interés. Se evaluaron las interacciones (AA, AB, BB), y aunque AB muestra una razón-F de 2.45, su valor-p de 0.1457 no proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que esta interacción es insignificante. La contribución de los bloques es mínima, según la baja suma de cuadrados, la razón-F de 0.01 y el valor-p de 0.9337, indicando que los bloques no influyen significativamente en el porcentaje de proteína extraído. La  $R^2$  del 85.7203% revela que el modelo explica aproximadamente el 85.7% de la variabilidad total, mientras que la  $R^2$  ajustada (72.4769%) tiene en cuenta los grados de libertad, proporcionando una visión más precisa de la bondad de ajuste del modelo. El tiempo de sonicación destaca como el factor más influyente en el porcentaje de proteína extraído, mostrando una significancia estadística clara. La temperatura de sonicación y las interacciones no parecen tener un impacto significativo según los resultados de este análisis de varianza. La R-cuadrada proporciona información sobre la bondad de ajuste del modelo, indicando que el 85.7% de la variabilidad total se explica mediante las variables consideradas.

La ecuación de regresión ajustada revela el modelo matemático que mejor se adapta a los datos obtenidos. En este caso, la ecuación del modelo ajustado para predecir el porcentaje de proteína extraído mediante ultrasonido en el cushuro (*Nostoc sphaericum*) es la siguiente:

$$\%Proteína = 61.0378 + 0.544583 X_1 - 3.16642 X_2 - 0.00784167 X_1^2 + 0.018625 X_1 \cdot X_2 + 0.0321333 X_2^2 \quad (1)$$

Donde:

$X_1$  = Tiempo de sonicación (min)

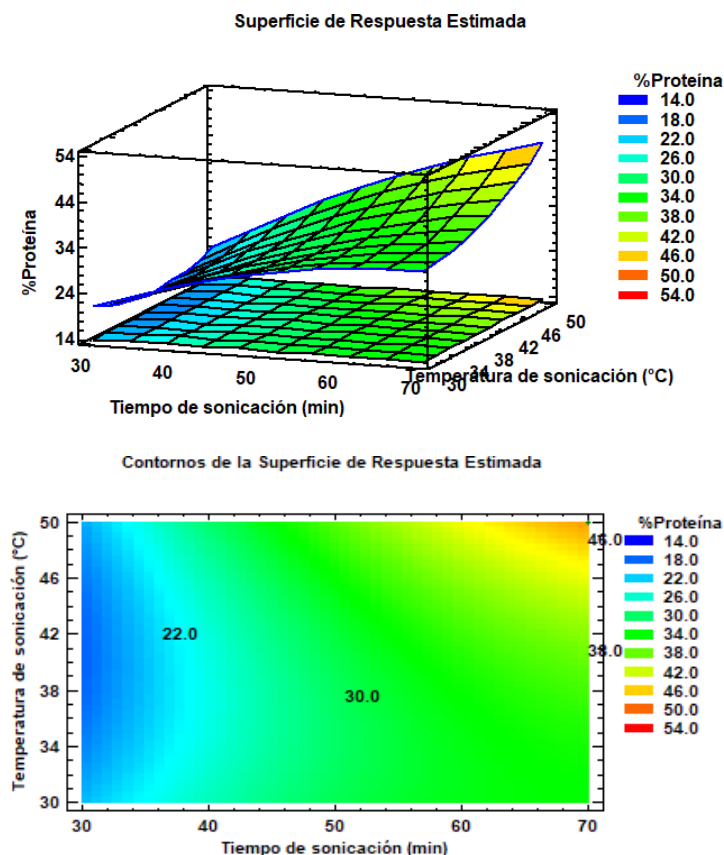
$X_2$  = Temperatura de sonicación (°C)

Esta ecuación proporciona una representación matemática de cómo el porcentaje de proteína extraído varía en función del tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación. Cada término en la ecuación tiene un coeficiente asociado que indica la magnitud y dirección de su impacto en el resultado.

Además, se busca optimizar la respuesta, que en este caso implica maximizar el porcentaje de proteína. El valor óptimo predicho por el modelo es de 47.9344% de proteína. Para lograr esta optimización, se sugiere utilizar los siguientes valores para las variables: Tiempo de sonicación (min) con un valor óptimo de 70.0 minutos y Temperatura de sonicación (°C) con un valor óptimo de 50.0 grados Celsius.

La ecuación proporciona una herramienta matemática para predecir el porcentaje de proteína extraído en función de las condiciones de sonicación, y los valores óptimos sugieren que un tiempo de sonicación más largo y una temperatura moderada maximizarían la extracción de proteínas en el cushuro.

Como se puede observar en la figura 6



**Figura 6:** Grafico de superficie de respuesta para el Porcentaje de Proteína extraído por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

En la figura 6, se puede observar que ha un tiempo de sonificación de 30 minutos es indiferente la temperatura de sonificación en el porcentaje de extracción de proteína de cushuro, pero conforme se aumenta el tiempo, se va obtener un mayor porcentaje de extracción cuando la temperatura de sonificación es de 50°C, podría deberse a varios factores relacionados con la cinética de las reacciones involucradas en el proceso de extracción. A 30 minutos de sonificación, es posible que el tiempo no sea lo suficientemente largo como para desencadenar cambios significativos en la matriz de cushuro a diferentes temperaturas. En este punto, la influencia de la temperatura podría no ser lo suficientemente evidente para afectar de manera significativa el rendimiento de la extracción de proteínas. Conforme se aumenta el tiempo de sonificación, la temperatura se vuelve un factor más relevante (Bernardi, et al 2021). Es probable que, durante un período más prolongado, las interacciones entre la energía ultrasónica y la matriz de cushuro, junto con los efectos térmicos, se intensifiquen. Esto podría conducir a una mayor ruptura de las estructuras celulares, facilitando la liberación de proteínas intracelulares en el solvente (Ochoa-Rivas, Nava-Valdez, Serna-Saldívar y Chuck-Hernández, 2017). La temperatura de 50°C podría ser un punto crítico donde las condiciones térmicas favorecen la desnaturalización de las proteínas y la ruptura de las membranas celulares, lo que resulta en un aumento significativo en el porcentaje de extracción (Rahman y Lamsal, 2021). A temperaturas más altas, podría haber un equilibrio entre la mejora de la eficiencia de la extracción y los posibles efectos negativos asociados con la desnaturalización excesiva de proteínas (Capcha, Naventa, Rios y Sisa, 2020).

#### **4.3. Propiedades tecnológicas de la proteína del cushuro (*Nostoc sphaericum*) extraída por ultrasonido**

##### **4.3.1. Capacidad de retención de agua de la proteína del cushuro (*Nostoc sphaericum*) extraída por ultrasonido**

La tabla 6 muestra los efectos estimados para la capacidad de retención de agua (mL/g) de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*) en función de diferentes factores. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 6: Efectos estimados para la Capacidad de Retención de Agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)**

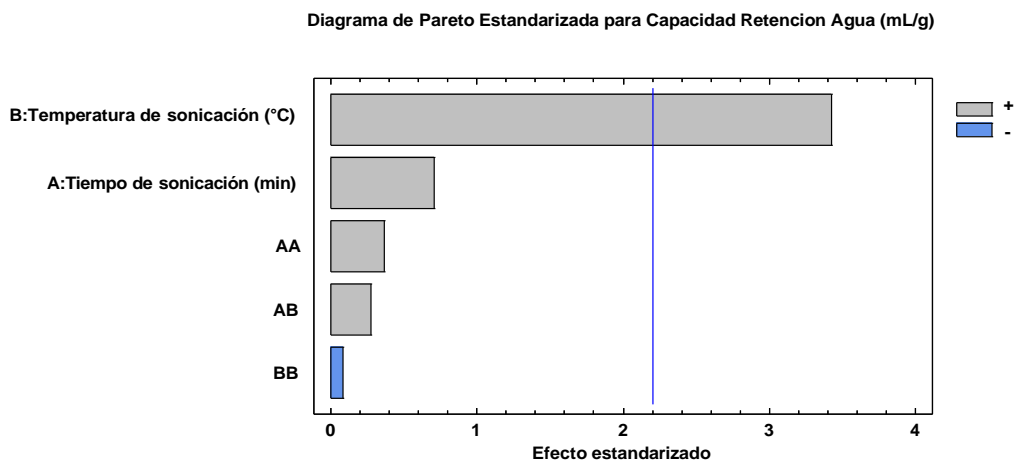
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	3.72556	0.0408197	
A:Tiempo de sonicación (min)	0.0316667	0.0447157	1.0
B:Temperatura de sonicación (°C)	0.153333	0.0447157	1.0
AA	0.0283333	0.0774499	1.0
AB	0.015	0.0547653	1.0
BB	-0.00666667	0.0774499	1.0
bloque	0.00555556	0.0365102	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

En esta tabla, se presentan los efectos estimados de la capacidad de retención de agua de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*) en función de diferentes factores, como el tiempo de sonicación, la temperatura de sonicación y los efectos de combinación entre ellos. Los errores estándar y los factores de inflación de varianza (V.I.F.) indican que el diseño experimental es ortogonal y no hay confusión seria entre los efectos, proporcionando robustez a los resultados. La capacidad de retención de agua tiene un valor estimado promedio de 3.72556 mL/g. Los efectos principales del tiempo y la temperatura de sonicación son positivos, indicando que, en promedio, un aumento en estas variables se relaciona con un aumento en la capacidad de retención de agua. Las interacciones entre estas variables también son evaluadas. Las combinaciones de niveles altos de tiempo y temperatura de sonicación contribuyen positivamente a la capacidad de retención de agua. Aunque el efecto de la interacción es más pequeño, sigue siendo positivo.

Este resultado se puede verificar de manera gráfica en la figura 7, estos hallazgos sugieren que al ajustar tanto el tiempo como la temperatura de

sonicación, individualmente y en conjunto, puede influir positivamente en la capacidad de retención de agua de las proteínas extraídas por ultrasonido del cushuro. La interacción entre estas variables parece tener un impacto positivo en esta capacidad, proporcionando información valiosa para la optimización de las condiciones de ultrasonido y mejor comprensión de las propiedades funcionales de las proteínas del cushuro.



**Figura 7:** Diagrama de Pareto para los efectos estimados para la Capacidad de retencion agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum)

Algunas proteínas de interés comercial, que son sometidas a procesamiento térmico, pueden experimentar una disminución en sus propiedades tecnológicas debido a la desnaturalización o agregación. Por ejemplo, en productos cárnicos, el uso de una proteína con una Capacidad de Retención de Agua reducida puede afectar negativamente el rendimiento de la producción, así como la textura y la jugosidad del producto final (Cristas, 2012).

La tabla 7 muestra los resultados del análisis de varianza para la capacidad de retención de agua de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro (Nostoc sphaericum) en función de diferentes factores, como el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 7:** Análisis de Varianza para la Capacidad de Retención Agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo de sonicación (min)	0.00300833	1	0.0030083	0.50	0.4936
B:Temperatura de sonicación (°C)	0.0705333	1	0.0705333	11.76	0.0056
AA	0.000802778	1	0.0008028	0.13	0.7214
AB	0.00045	1	0.00045	0.08	0.7892
BB	0.000044444	1	0.0000444	0.01	0.9330
bloques	0.000138889	1	0.0001389	0.02	0.8818
Error total	0.0659833	11	0.0059986		
Total (corr.)	0.140961	17			

R-cuadrada = 83.1904 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 77.6579 por ciento

Error estándar del est. = 0.0774499

Error absoluto medio = 0.0478395

Estadístico Durbin-Watson = 2.96275 (P=0.9179)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.560159

Los resultados indican que la temperatura de sonicación (°C) tiene un efecto significativo en la capacidad de retención de agua de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro, con un valor de razón-F de 11.76 y un valor-P de 0.0056. Esto sugiere que la temperatura de sonicación influye en la capacidad de retención de agua de la proteína de cushuro. Por otro lado, el tiempo de sonicación (min) no muestra un efecto significativo en la capacidad de retención de agua, con un valor de razón-F de 0.50 y un valor-P de 0.4936. La R-cuadrada ajustada por g.l. es del 77.6579%, lo que indica que el modelo explica el 77.6579% de la variabilidad en la capacidad de retención de agua de la proteína de cushuro. El error estándar del estimador es de 0.0774499, lo que indica la precisión del modelo. En resumen, estos resultados sugieren que la



temperatura de sonicación es un factor importante que influye en la capacidad de retención de agua de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro, mientras que el tiempo de sonicación no tiene un efecto significativo.

La ecuación de regresión ajustada revela el modelo matemático que mejor se adapta a los datos obtenidos. En este caso, la ecuación del modelo ajustado para predecir la capacidad de retención de agua (en mL/g) de la proteína extraído mediante ultrasonido en el cushuro (*Nostoc sphaericum*) es la siguiente:

$$\text{Capacidad retención Agua (mL/g)} = 3.48951 - 0.00425X_1 + 0.00845833 X_2 + 0.0000354167.X_1^2 + 0.0000375 X_1. X_2 - 0.0000333333.X_2^2 \quad (2)$$

Donde:

$X_1$  = Tiempo de sonicación (min)

$X_2$  = Temperatura de sonicación

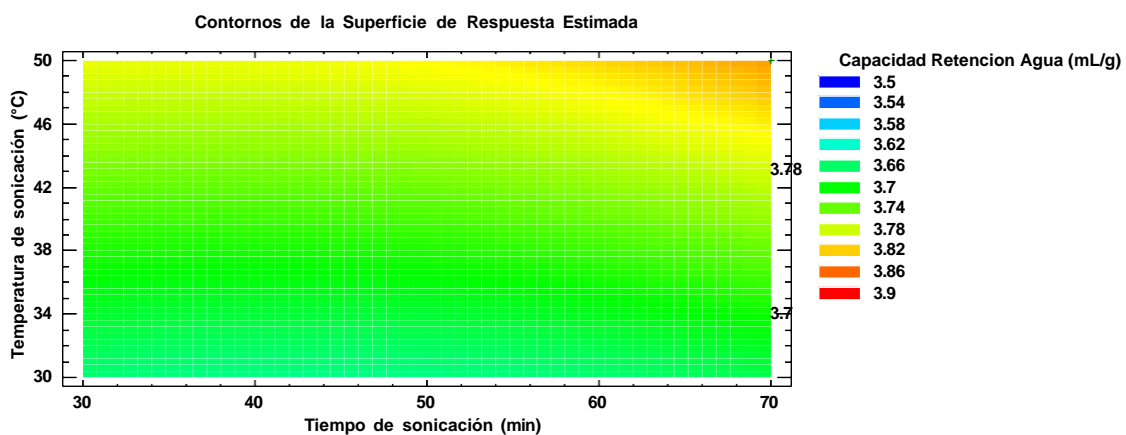
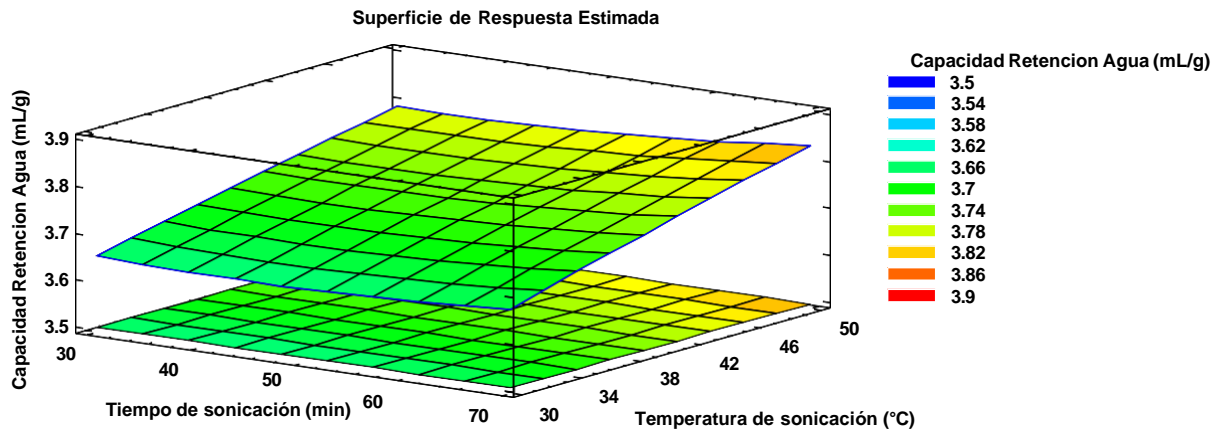
La ecuación es un modelo de regresión que relaciona la capacidad de retención de agua (en mL/g) con el tiempo de sonicación (en minutos) y la temperatura de sonicación (en °C), así como con términos de interacción entre estas variables. La ecuación sugiere que la capacidad de retención de agua aumenta con la temperatura de sonicación y con el tiempo de sonicación, pero de forma no lineal debido a la presencia de términos cuadráticos y de interacción.

El valor óptimo de la capacidad de retención de agua se estima en 3.83639 mL/g, y este óptimo se alcanza cuando el tiempo de sonicación es de 70 minutos y la temperatura de sonicación es de 50°C. Estos valores representan la combinación de niveles de factores que maximizan la capacidad de retención de agua en la región de interés.

En resumen, la ecuación y los valores óptimos proporcionan información sobre cómo la capacidad de retención de agua de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro varía en función del tiempo y la temperatura de sonicación, y cuáles son los valores óptimos de estos factores para maximizar dicha capacidad.

En la figura 8, se puede observar que para una temperatura de 30°C al aumentar el tiempo de sonificación no incrementa la capacidad de retención de agua, para una temperatura de 50°C se incrementa la capacidad de retención

de agua, así mismo esta aumenta conforme se incremente el tiempo de sonicación a esta misma temperatura



**Figura 8:** Grafico de superficie de respuesta para la Capacidad de Retencion Agua (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

La cavitación generada por el ultrasonido a diferentes temperaturas y tiempos de sonicación durante los ensayos realizados podría haber inducido cambios en la conformación estructural de la proteína, alterando las cadenas laterales de los aminoácidos. Silva (2008) y Santana et al. (2017) indicaron que las proteínas interactúan de manera más efectiva con el agua cuando hay una mayor proporción de aminoácidos con cadenas laterales hidrofílicas. La capacidad de retención de agua es una interacción crucial que ocurre entre el

agua y la proteína en diversos sistemas alimentarios, ya que evalúa la habilidad de una matriz de proteína para absorber y retener agua en contra de la fuerza de la gravedad. Factores clave que afectan la capacidad de retención de agua incluyen la estructura y conformación de la proteína, la composición de aminoácidos, la polaridad, la fuerza iónica, la temperatura y el pH (Kneifel et al., 1991; Damodaran y Parkin., 2018). Hu et al. (2013b) utilizaron una sonda de ultrasonido a 20 kHz en muestras de proteína con concentraciones del 10%. La muestra tratada durante 70 minutos experimentó con un aumento de temperatura de 30 a 50°C alcanzó el mayor valor de capacidad de retención de agua. Estos resultados se atribuyeron al aumento de la solubilidad de la proteína y a la reducción del tamaño de las partículas. En contraste, las muestras tratadas durante 30 minutos, a menor temperatura obtuvieron valores de capacidad de retención de agua menores, junto con partículas de proteínas más grandes, lo que se asoció a la desnaturalización de la muestra. Malik et al. (2017) observaron resultados similares en la capacidad de retención de agua al utilizar tanto la sonda como el baño de ultrasonido, atribuyendo estos efectos principalmente a la cavitación que ocurre dentro de la solución.

#### **4.3.2. Capacidad de retención de grasa de la proteína del cushuro (*Nostoc sphaericum*) extraída por ultrasonido**

La tabla 8 se presenta los efectos estimados para Capacidad Retención Grasa (mL/g)" presenta estimaciones relacionadas con cómo el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación, así como sus interacciones, influyen en la Capacidad de Retención de Grasa en las proteínas extraídas mediante ultrasonido del cushuro.

**Tabla 8:** Efectos estimados para la Capacidad de retención de grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

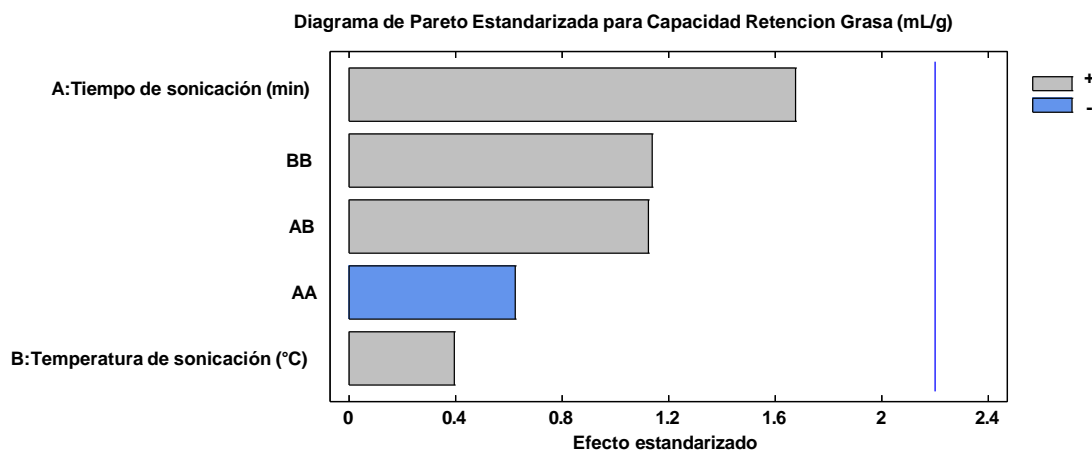
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	2.16667	0.0463511	
A:Tiempo de sonicación (min)	0.085	0.0507751	1.0
B:Temperatura de sonicación (°C)	0.02	0.0507751	1.0
AA	-0.055	0.0879451	1.0
AB	0.07	0.0621866	1.0
BB	0.1	0.0879451	1.0
bloque	0.0122222	0.0414577	1.0

Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

El tiempo de sonicación exhibe un efecto positivo de 0.085, indicando que un incremento en el tiempo de sonicación se asocia con un aumento en la Capacidad de Retención de Grasa. De manera similar, la temperatura de sonicación también tiene un efecto positivo (0.02), sugiriendo que un aumento en la temperatura contribuye al aumento en la retención de grasa. Estos efectos están respaldados por errores estándar de 0.0507751. Las interacciones, como AA y BB con efectos estimados negativos, y AB con un efecto positivo, señalan que las relaciones combinadas de tiempo y temperatura de sonicación influyen en la capacidad de retención de Grasa.

Como se puede observar en la figura 9, el efecto estimado para el tiempo de sonicación es positivo (0.085), indicando un aumento en la Capacidad de Retención de Grasa a medida que se incrementa el tiempo de sonicación. Este efecto tiene un error estándar de 0.0507751. El efecto estimado para la temperatura de sonicación también es positivo (0.02), sugiriendo que un aumento en la temperatura de sonicación contribuye a un aumento en la Capacidad de Retención de Grasa. El error estándar asociado es 0.0507751. Las interacciones AA y BB tienen efectos estimados negativos, mientras que la interacción AB tiene un efecto positivo. Esto indica que hay interacciones

entre el tiempo y la temperatura de sonicación que afectan la Capacidad de Retención de Grasa.



**Figura 9:** Diagrama de Pareto para los efectos estimados para la Capacidad de retención grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

La conexión de los grupos hidrofóbicos de la proteína con las moléculas de aceite define la capacidad de retención de grasa (CRG). Al igual que en la capacidad de retención de agua (CRA), el índice de absorción de grasa determina el tipo de producto alimenticio para el cual la proteína puede ser utilizada. La absorción de grasa mejora la palatabilidad del alimento y modifica la textura y calidad del producto final (Rodriguez-Ambriz et al., 2005; Santana et al., 2017). La absorción de grasa varía en función del número de grupos lipofílicos expuestos en la superficie de la proteína (Wang et al., 2010).

La tabla 9 muestra los resultados del análisis de varianza para la capacidad de retención de grasa de la proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*) en función de diferentes factores, como el tiempo de sonicación y la temperatura de sonicación. Los resultados indican que ninguno de los factores tiene un efecto significativo en la capacidad de retención de grasa, ya que todos los valores de razón-F son menores que 1 y los valores-P son mayores que 0.05. Esto sugiere que la capacidad de retención de grasa no se ve afectada por el tiempo de sonicación ni por la temperatura de sonicación.

**Tabla 9:** Análisis de Varianza para la Capacidad de retención grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo de sonicación (min)	0.021675	1	0.021675	2.80	0.1223
B:Temperatura de sonicación (°C)	0.0012	1	0.0012	0.16	0.7012
AA	0.003025	1	0.003025	0.39	0.5445
AB	0.0098	1	0.0098	1.27	0.2843
BB	0.01	1	0.01	1.29	0.2797
bloques	0.000672222	1	0.000672222	0.09	0.7736
		2			
Error total	0.0850778	11	0.00773434		
Total (corr.)	0.13145	17			

R-cuadrada = **75.2775** porciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = **59.6554** porciento  
Error estándar del est. = **0.0879451**  
Error absoluto medio = **0.0568519**  
Estadístico Durbin-Watson = 3.01256 (P=0.9339)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.538832

Los resultados indican que, según el análisis estadístico, ni el tiempo de sonicación ni la temperatura de sonicación muestran un impacto significativo en la capacidad de retención de grasa. Las interacciones entre el tiempo y la temperatura de sonicación también se consideran no significativas. El modelo propuesto explica alrededor del 75.28% de la variabilidad observada en la capacidad de retención de grasa, con una R-cuadrada ajustada del 59.66%, sugiriendo una adecuada capacidad del modelo para explicar las variaciones. El bajo error estándar del estimado (0.0879451) y el estadístico Durbin-Watson cercano a 3 indican una calidad de ajuste aceptable del modelo.

La ecuación del modelo ajustado proporciona una representación matemática de la relación entre la Capacidad de Retención de Grasa (mL/g) y los factores de tiempo de sonicación y temperatura de sonicación.

$$\text{Capacidad retención Grasa (mL/g)} = 2.99854 + 0.002 \cdot X_1 - 0.04775 \cdot X_2 - 0.00006875 \cdot X_1^2 + 0.000175 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.0005 \cdot X_2^2 \quad (3)$$

Donde:

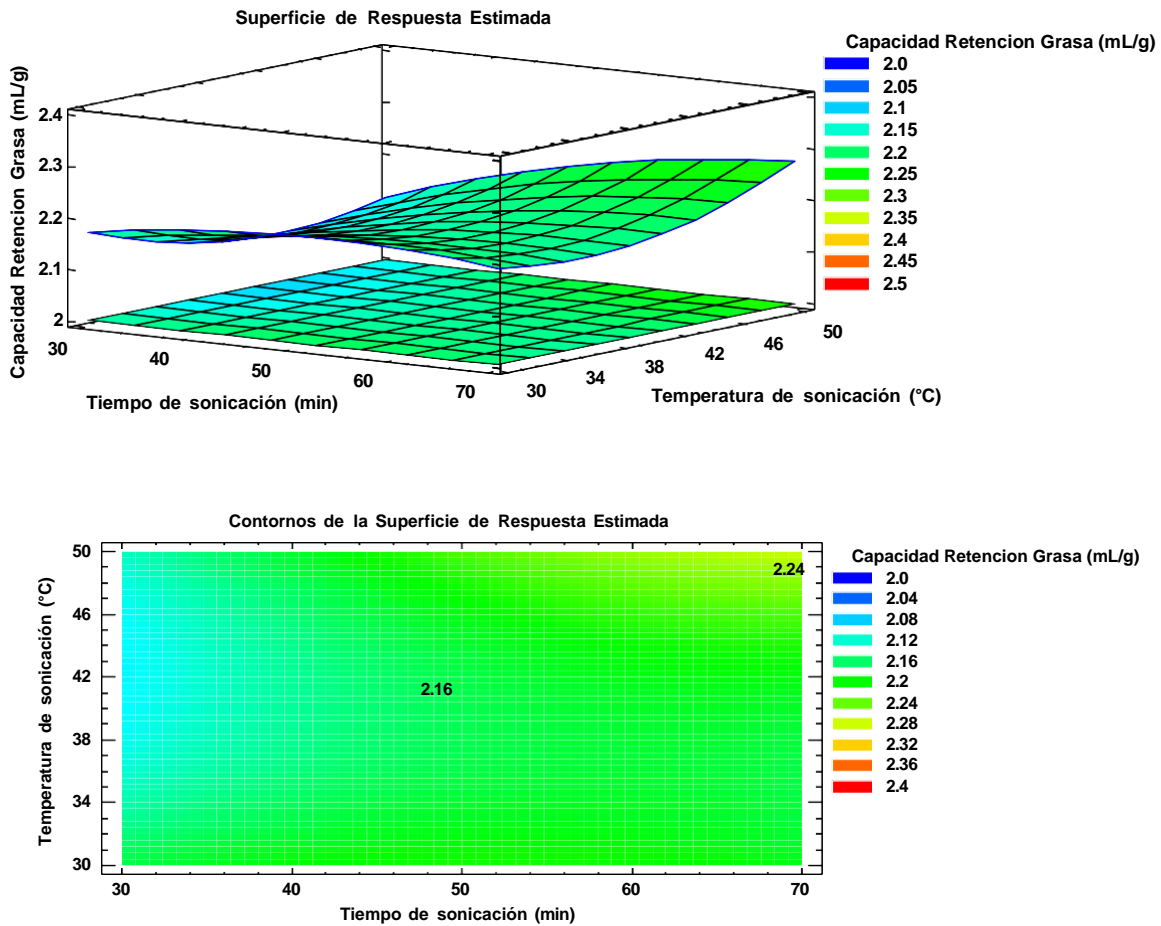
$X_1$  = Tiempo de sonicación (min)

$X_2$  = Temperatura de sonicación

La ecuación del modelo ajustado proporciona una relación matemática entre la capacidad de retención de grasa y los factores de tiempo y temperatura de sonicación. Los resultados de la optimización indican que la combinación óptima de tiempo y temperatura de sonicación para maximizar la capacidad de retención de grasa es de 70 minutos y 50°C, respectivamente, lo que resulta en una capacidad de retención de grasa de 2.27667 mL/g. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en un estudio específico y pueden no ser generalizables a otras condiciones experimentales o a otras variedades de cushuro. Además, la capacidad de retención de grasa es solo uno de los muchos factores que pueden influir en la calidad y el valor nutricional de la proteína de cushuro. En términos prácticos, estos resultados sugieren que, bajo las condiciones evaluadas, un tiempo de sonicación más prolongado y una temperatura de sonicación moderada pueden ser favorables para maximizar la capacidad de retención de grasa en la proteína extraída por ultrasonido de cushuro.

En la figura 10, se puede observar que para una temperatura de 30°C al aumentar el tiempo de sonicación de 30 a 70 minutos, no incrementa la capacidad de retención de grasa, y para una temperatura de 50°C, si se incrementa el tiempo, aumenta la capacidad de retención de grasa, siendo mucho mayor que para una temperatura de 30°C y 70 minutos de sonicación. A temperaturas más bajas, el tiempo adicional de sonicación puede no ser suficiente para desencadenar cambios significativos en la interacción proteína-grasa, resultando en una capacidad de retención de grasa relativamente constante. A temperaturas más altas, el tiempo adicional de sonicación puede potenciar las interacciones y mejorar la capacidad de la proteína para retener grasa, lo que se refleja en un aumento significativo en la Figura 10. La interacción entre la temperatura de sonicación y el tiempo es crucial. A

temperaturas más altas, el tiempo de sonicación prolongado puede tener un impacto más pronunciado en la capacidad de retención de grasa en comparación con las condiciones de temperatura más bajas.



**Figura 10:** Grafico de superficie de respuesta para la Capacidad de retención grasa (mL/g) de la Proteína extraída por ultrasonido de cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Padilla e Alfaro (1996) observaron que la harina desengrasada de soja (FDS) tiene una mayor capacidad de retención de agua que de retención de grasa, y sugirieron que la proteína de soja posee más grupos hidrofílicos. No obstante, también consideraron que la harina desengrasada de soja contiene más carbohidratos, lo cual podría haber contribuido al aumento de la capacidad de retención de agua.



#### **4.4. Comportamiento reológico de proteína del cushuro (*Nostoc sphaericum*) extraída por ultrasonido**

Con las condiciones óptimas donde la extracción de proteína fue máxima y con la proteína que presento mayor capacidad de retención de agua, se determino que las condiciones óptimas de extracción por ultrasonido fueron Tiempo de sonicación de 70 minutos y Temperatura de sonicación de 50 °C.

A la proteína extraída bajo estas condiciones se realizó la evaluación del comportamiento reológico.

En la tabla 10, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación reológica de soluciones de proteína de cushuro extraído por ultrasonido a diferentes concentraciones. La figura 11 muestra el efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de soluciones de proteína de cushuro a concentraciones de 5%, 7.5% y 10% p/v. Se observa que conforme aumenta la temperatura, la curva reológica para cada concentración desciende, lo que indica que el fluido se hace menos viscoso. Además, se puede observar que, para todas las concentraciones y temperaturas, sigue la curva de un modelo pseudoplastico.

Este resultado se debe a que la proteína de cushuro es una proteína hidrosoluble que se comporta como un fluido no newtoniano, es decir, su viscosidad varía con la deformación a la que está sometida. La viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo que se debe a la expansión térmica de la proteína y la disminución de la interacción entre las moléculas de proteína. Además, la proteína de cushuro es una proteína de alta molecular que puede formar agregados y complejos con otros componentes del cushuro, como polisacáridos y lípidos, lo que también puede afectar su comportamiento reológico.

En resumen, la proteína de cushuro extraída por ultrasonido presenta un comportamiento reológico pseudoplastico, lo que se debe a su naturaleza hidrosoluble y a la interacción con otros componentes del cushuro. La viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo que se debe a la expansión térmica de la proteína y a la disminución de la interacción entre las moléculas de proteína.

**Tabla 10:** Caracterización reológica de soluciones de proteína de cushuro extraído por ultrasonido a diferentes concentraciones y temperatura\* Cálculo del promedio y desviación estándar con 3 repeticiones.

Temperatura	Concentración: 5%				Concentración: 7.5%				Concentración: 10%			
	25°C	40°C	60°C	80°C	25°C	40°C	60°C	80°C	25°C	40°C	60°C	80°C
Velocidad de deformación (1/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)	Esfuerzo cortante (Pa)
0.994	3.714±1.081	2.23±0.363	2.426±0.421	0±0	13.238±2.602	10.296±2.231	10.562±2.222	5.356±0.308	15.306±4.291	13.48±3.508	9.328±1.971	0±1.329
8.066	11.139±2.841	7.443±0.699	7.254±1.418	1.928±0.148	31.911±6.048	23.953±5.481	22.251±4.932	11.803±1.124	34.491±7.913	28.802±6.996	19.04±4.425	35.721±3.695
15.137	15.439±3.412	10.428±0.902	9.881±1.808	2.922±0.178	42.086±7.443	31.4±6.887	28.368±6.034	15.477±1.44	44.794±9.131	37.158±8.361	24.332±5.534	44.099±4.663
22.209	18.624±4.226	12.656±0.992	11.72±2.162	3.383±0.308	50.143±8.611	37.183±8.084	32.707±6.845	17.926±1.645	52.383±9.896	43.145±9.166	28.051±6.358	50.058±5.191
29.281	21.767±5.126	14.692±1.258	13.254±2.456	3.82±0.221	57.544±9.947	42.475±9.247	36.59±7.555	19.994±1.752	58.776±10.582	48.182±9.894	31.156±6.868	55.107±5.532
36.353	24.966±5.906	16.727±1.394	14.631±2.727	4.107±0.257	64.588±11.065	47.445±10.276	39.977±8.167	21.808±1.953	64.692±11.224	52.632±10.465	33.981±7.306	59.628±5.904
43.425	28.17±6.714	18.581±1.426	15.828±2.987	4.351±0.256	71.361±11.702	52.194±10.995	43.202±8.632	23.51±1.982	70.131±11.721	56.769±10.949	36.522±7.665	63.873±6.024
50.497	31.17±7.243	20.654±1.619	17.084±3.161	4.647±0.196	77.78±12.168	56.662±11.376	46.283±9.001	25.104±2.019	75.303±12.02	60.655±11.308	38.984±7.934	67.836±6.033
57.57	34.024±7.449	22.692±1.806	18.459±3.325	4.855±0.175	83.903±12.334	61.066±11.731	49.193±9.188	26.696±2.023	80.385±12.53	64.347±11.63	41.246±8.144	71.574±5.953
64.642	36.934±7.37	24.562±1.795	19.714±3.53	5.113±0.233	89.653±12.175	65.196±11.843	52.087±9.342	28.119±2.033	85.437±12.657	68.022±11.844	43.502±8.203	75.237±5.865
71.714	39.745±7.275	26.366±1.755	20.805±3.624	5.364±0.146	95.309±11.793	69.114±11.7	54.789±9.39	29.544±1.979	90.36±12.536	71.645±11.848	45.674±8.334	78.806±5.705
78.786	42.296±6.959	28.2±1.755	21.93±3.642	5.417±0.159	100.644±11.335	72.828±11.431	57.505±9.448	31.038±1.889	95.152±12.314	75.108±11.701	47.823±8.321	82.223±5.376
85.858	44.822±6.506	30.034±1.847	23.14±3.555	5.642±0.355	105.797±10.712	76.554±10.896	60.094±9.28	32.285±1.89	99.94±11.825	78.467±11.455	49.971±8.282	85.529±5.208
92.93	47.243±5.861	31.806±1.593	24.268±3.554	5.914±0.197	110.71±10.037	79.945±10.52	62.592±9.059	33.595±1.869	104.662±11.138	82.014±11.171	52.046±8.14	88.725±4.832
100.002	49.467±5.412	33.424±1.506	25.273±3.563	5.99±0.216	115.542±9.249	83.331±10.157	65.001±8.805	34.951±1.772	109.225±10.462	85.384±10.786	54.175±8.148	91.717±4.449
100	47.975±4.085	32.557±0.753	25.051±3.065	5.994±0.177	113.59±7.986	81.951±8.564	64.167±7.738	34.501±1.44	106.773±8.855	83.934±9.251	53.27±6.978	90.632±3.41
92.93	44.056±3.548	30.394±0.678	23.338±2.746	5.697±0.264	105.799±6.963	76.651±7.542	60.359±6.65	32.591±1.242	98.387±7.529	78.151±7.93	49.917±6.056	85.784±2.753
85.858	40.46±2.837	28.237±0.519	21.828±2.316	5.51±0.187	98.859±6.33	72.004±6.778	56.961±6.076	30.934±1.128	91.511±6.423	73.199±6.893	46.999±5.443	81.214±2.232
78.786	37.165±2.466	26.178±0.587	20.476±2.041	5.321±0.149	92.241±5.737	67.377±6.099	53.569±5.483	29.166±0.898	85.472±5.879	68.62±6.137	44.173±4.796	76.88±1.911
71.714	33.982±2.251	24.35±0.554	19.183±1.743	5.034±0.131	85.758±5.221	62.725±5.441	50.465±4.779	27.529±0.903	80.139±5.337	64.508±5.505	41.502±4.101	72.631±1.536
64.642	31.082±1.946	22.351±0.597	17.813±1.675	4.943±0.173	79.509±4.793	58.235±4.759	47.259±4.304	26.085±0.759	75.088±4.739	60.53±4.929	39.057±3.706	68.326±1.382
57.57	28.4±1.637	20.537±0.53	16.496±1.434	4.753±0.131	73.456±4.352	53.999±4.299	44.071±3.938	24.438±0.629	70.181±4.374	56.678±4.438	36.58±3.438	64.17±1.273
50.497	25.773±1.254	18.708±0.369	15.248±1.151	4.445±0.043	67.468±3.824	49.504±3.864	41.016±3.427	22.807±0.467	65.309±4.162	52.854±3.933	34.149±3.066	59.905±1.114
43.425	23.079±1.137	17.031±0.322	14.026±1.061	4.252±0.143	61.605±3.389	45.102±3.411	37.986±3.128	21.204±0.432	60.561±3.774	49.162±3.67	31.699±2.721	55.677±1.033
36.353	20.696±0.913	15.174±0.313	12.816±0.851	4.04±0.109	55.604±3.041	40.633±3.04	34.807±2.708	19.558±0.353	55.621±3.606	45.214±3.418	29.271±2.444	51.302±0.982
29.281	18.247±0.766	13.443±0.264	11.623±0.737	3.726±0.172	49.567±2.711	36.193±2.672	31.563±2.39	17.778±0.348	50.367±3.323	41.071±3.075	26.662±2.267	46.886±0.901
22.21	15.792±0.556	11.683±0.206	10.251±0.715	3.486±0.218	43.374±2.351	31.708±2.173	28.138±2.123	15.913±0.284	44.584±3.112	36.554±2.873	23.923±1.941	42.198±0.764
15.138	13.307±0.459	9.741±0.314	8.773±0.567	3.041±0.067	36.631±1.962	26.91±1.876	24.354±1.749	13.743±0.25	37.887±2.826	31.402±2.568	20.64±1.701	36.873±0.676
8.066	9.764±0.411	7.181±0.193	6.669±0.387	2.369±0.148	28.125±1.677	20.778±1.463	19.406±1.482	10.783±0.137	29.37±2.496	24.549±2.243	16.441±1.459	30.022±0.52
0.994	3.612±0.175	2.557±0.135	2.719±0.183	0±0	12.855±1.234	9.865±0.866	10.179±0.963	5.491±0.163	13.893±1.555	12.434±1.287	8.533±0.727	17.617±0.154

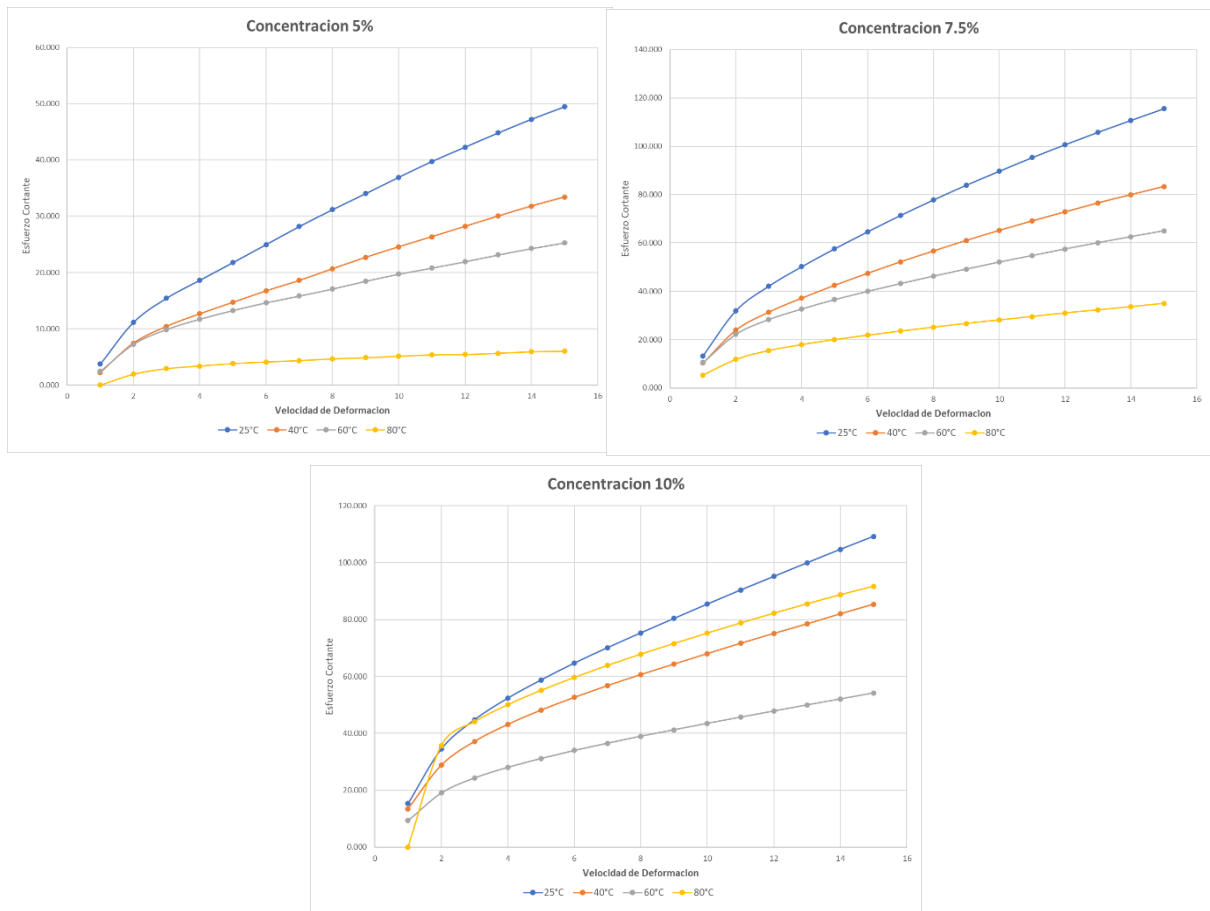


Figura 11: Curvas de Comportamiento reológico de soluciones de proteína de cushuro extraído por ultrasonido a concentraciones de 5%, 7.5 y 10% p/v.

En la tabla 8, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación reológica de soluciones de proteína de cushuro extraído por ultrasonido a diferentes concentraciones. La figura 11 muestra el efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de soluciones de proteína de cushuro a concentraciones de 5%, 7.5% y 10% p/v. Se observa que conforme aumenta la temperatura, la curva reológica para cada concentración desciende, lo que indica que el fluido se hace menos viscoso. Además, se puede observar que, para todas las concentraciones y temperaturas, sigue la curva de un modelo pseudoplástico

El modelo pseudoplástico describe el comportamiento de fluidos no newtonianos cuya viscosidad aparente disminuye a medida que aumenta el gradiente de velocidad. Este

modelo se ajusta a los datos reológicos mediante la ecuación  $\sigma = K\dot{\gamma}^n$ , donde  $\sigma$  es el esfuerzo cortante,  $\dot{\gamma}$  es la tasa de deformación,  $K$  es el índice de consistencia del fluido (Pa.sn), y  $n$  es el índice de comportamiento al flujo (adimensional). El ajuste al modelo pseudoplástico se determina a través de la obtención de parámetros reológicos  $K$  y  $n$ , los cuales se obtienen a partir de los datos experimentales y se ajustan a la ecuación mencionada. Este resultado se debe a que la proteína de cushuro es una proteína hidrosoluble que se comporta como un fluido no newtoniano, es decir, su viscosidad varía con la deformación a la que está sometida. La viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo que se debe a la expansión térmica de la proteína y la disminución de la interacción entre las moléculas de proteína. Además, la proteína de cushuro es una proteína de alta molecular que puede formar agregados y complejos con otros componentes del cushuro, como polisacáridos y lípidos, lo que también puede afectar su comportamiento reológico. La proteína de cushuro extraída por ultrasonido presenta un comportamiento reológico pseudoplástico, lo que se debe a su naturaleza hidrosoluble y a la interacción con otros componentes del cushuro. La viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo que se debe a la expansión térmica de la proteína y a la disminución de la interacción entre las moléculas de proteína.

La tabla 11 presenta los parámetros del modelo reológico pseudoplástico para las proteínas de cushuro extraídas por ultrasonido, variando la concentración y la temperatura. Los parámetros incluyen el Índice de Consistencia (Pa.sn), el Índice de Comportamiento al Flujo y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Se observa que a medida que aumenta la concentración de proteína de cushuro, los valores del Índice de Consistencia tienden a incrementarse. Este índice está relacionado con la viscosidad y la resistencia al flujo; por lo tanto, a mayores concentraciones, la proteína de cushuro presenta una mayor resistencia al flujo. En cuanto al Índice de Comportamiento al Flujo, se observa una variación en función de la concentración y la temperatura. Este índice indica la pseudoplasticidad del fluido; valores más bajos indican un comportamiento más pseudoplástico. A temperaturas más altas, se observa una tendencia a reducirse el Índice de Comportamiento al Flujo, indicando una mayor tendencia pseudoplástica. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es alto en todos los casos (por encima de 0.9), lo que sugiere que el modelo pseudoplástico utilizado se ajusta bien a los datos experimentales.

Tabla 11: Parámetros del modelo reológico pseudoplástico para las proteínas del cushuro extraída por ultrasonido.

Concentración (%)	Temperatura (°C)	Índice de Consistencia (Pa.s <sup>n</sup> )	Índice de comportamiento al flujo	R <sup>2</sup>
5	25	3.323±0.572	0.575±0.013	0.997
	40	2.194±0.198	0.571±0.011	0.987
	60	2.419±0.273	0.491±0.009	0.992
	80	1.101±0.102	0.401±0.010	0.919
7.5	25	10.576±1.636	0.434±0.015	0.997
	40	8.672±1.786	0.419±0.049	0.989
	60	9.347±1.342	0.398±0.016	0.989
	80	4.913±0.247	0.378±0.029	0.975
10	25	13.236±2.723	0.459±0.021	0.989
	40	11.734±2.213	0.414±0.019	0.978
	60	8.154±1.345	0.389±0.012	0.987
	80	16.683±0.895	0.357±0.091	0.989

Los resultados indican que la concentración y la temperatura tienen un impacto significativo en las propiedades reológicas de las proteínas de cushuro extraídas por ultrasonido. A concentraciones más altas, la resistencia al flujo aumenta, y a temperaturas más altas, se observa un comportamiento más pseudoplástico. Estos hallazgos son relevantes para comprender y controlar las propiedades reológicas de las proteínas de cushuro en aplicaciones alimentarias.

## V. CONCLUSIONES

- Se confirma según la hipótesis que la aplicación de ultrasonido mejora significativamente la eficiencia de la extracción de proteínas del cushuro (*Nostoc sphaericum*), mejorando el comportamiento reológico y propiedades funcionales de las proteínas extraídas, en comparación con métodos convencionales de extracción sin ultrasonido.
- El cushuro deshidratado se revela como una fuente rica en proteínas con bajos niveles de grasa, evidenciando coherencia en sus niveles de humedad y cenizas en comparación con estudios previos. La variabilidad en los contenidos se vincula a factores ambientales, y se destaca la importancia de considerar el impacto del secado en la composición del cushuro.
- Los parámetros óptimos de extracción de proteína de cushuro es Tiempo de sonicación (min) con un valor óptimo de 70.0 minutos y Temperatura de sonicación (°C) con un valor óptimo de 50°C logrando un valor óptimo de extracción de 47.9344% de proteína. Estos parámetros óptimos sugieren que un tiempo de sonicación más largo y una temperatura moderada maximizarían la extracción de proteínas en el cushuro.
- Los resultados de la evaluación de las propiedades tecnológicas de la proteína del cushuro extraída por ultrasonido indican que tiene una alta capacidad de retención de agua, lo que sugiere su potencial uso como agente espesante y emulsionante en la industria alimentaria.
- El comportamiento reológico de la proteína del cushuro (*Nostoc sphaericum*) extraída por ultrasonido indican que esta presenta un comportamiento pseudoplástico, lo que significa que su viscosidad disminuye con el aumento del esfuerzo cortante.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Utilizar un tiempo de sonicación más largo y una temperatura moderada para maximizar la extracción de proteínas en el cushuro.
- Tener en cuenta la posibilidad de alteraciones en los componentes durante el proceso de secado, como la desnaturalización de proteínas y la consiguiente disminución de su concentración.
- Realizar estudios adicionales para evaluar la calidad nutricional y funcional de la proteína del cushuro extraída por ultrasonido y su potencial aplicación en la industria alimentaria.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

Alegre, R., Ojeda, M. y Acuña, A. (2020). *Análisis proximal y contenido de hierro y calcio de Nostoc sphaericum "cushuro" deshidratado procedente de la laguna de Conococha, Catac – Huaraz*. Universidad César Vallejo. UCV Scientia volumen 12 N° 2. Perú.

Alvarado S. y Rodriguez, B. (2017). *Efecto del consumo de hierro contenido en la murmunta (Nostoc sphaericum) en la recuperación de ratas con anemia inducida, Arequipa, 2017*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.

Alzamora, S. M., Guerrero, S. N., Schenk, M., Raffellini, S., & López-Malo, A. (2018). Inactivation of microorganisms. Ultrasound technologies for food and bioprocessing, 321-343.

American Association of Cereal Chemists (AACC) (2010). Method 44–19. Approved methods of the AACC, 10th ed. The Association, St. Paul, MN.

AOAC (Official Methods of Analysis). (2010). Microchemical Determination of Nitrogen. AOAC 960.52-1961 (2010). Washington DC (US): Association of Official Analytical Chemist.

AOAC (2005) Official Methods of Analysis, 17th edn. AOAC International, Arlington, VA, USA.

AOAC. (1998). Official methods of analysis of AOAC international. 16 ed. Estados Unidos: AOAC International.

Arvanitoyannis, I. S., Kotsanopoulos, K. V., & Savva, A. G. (2017). Use of ultrasounds in the food industry—Methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(1), 109-128.

Ashokkumar, (2018). Ultrasonic food processing. *Alternatives Conventional Food Process*, 53, 316.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of analysis. AOAC. (2012). Método A.O.A.C. 930.15/90. Determinación de humedad

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis AOAC. (2012). Método A.O.A.C. 930.15/90 Determinación de cenizas.

BARBOSA, C. V. (2016). Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products. *J. Texture Studies.*, 14, 213-234.



- Barnes, H. A. (2017). An examination of the use of rotational viscometers for the quality control of non-Newtonian liquid products in factories. *Applied Rheology*, 11(2), 89-101.
- Bashir, S., Sharif, M. K., Butt, M. S., & Shahid, M. (2016). Functional properties and amino acid profile of *Spirulina platensis* protein isolates. *Biological Sciences-PJSIR*, 59(1).
- Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Attia, H., & Ghorbel, D. (2016). Effect of pH on the functional properties of *Arthrospira (Spirulina) platensis* protein isolate. *Food Chemistry*, 194, 1056-1063.
- Bernardi, S., Kalschne, D. L., Menegotto, A. L. L., Flores, E. L. M., Barin, J. S., Fuchs, R. H. B., ... & Canan, C. (2020). Feasibility of ultrasound-assisted optimized process of high purity rice bran protein extraction. *Ciência Rural*, 50.
- Bernardi, S., Lupatini-Menegotto, A. L., Kalschne, D. L., Moraes Flores, É. L., Bittencourt, P. R. S., Colla, E., & Canan, C. (2021). Ultrasound: A suitable technology to improve the extraction and techno-functional properties of vegetable food proteins. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76, 1-11.
- Bernardo, C. O., Ascheri, J. L. R., & Carvalho, C. W. P. D. (2016). Efeito do ultrassom na extração e modificação de amidos. *Ciência Rural*, 46, 739-746.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105293.
- Bispo, L. D. O. (2019). Efeito do pH, NaCl e tratamento ultrassônico na solubilidade das proteínas da microalga *Spirulina platensis* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Bobbio, P. A., & Bobbio, F. O. (1995). Química do processamento de alimentos. In *Química do processamento de alimentos* (pp. 151-151).
- Bourne, M. (2017). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. Elsevier.
- Buckin, V., Kudryashov, E., & O'Driscoll, B. (2018). High-resolution ultrasonic spectroscopy for material analysis. *American laboratory*, 34(5; SUPP), 28-31.
- Capcha Orihuela, K. M., Naventa Villanueva, E. L., Rios Velasquez, C., & Sisa Huaccha, N. Y. (2020). Evaluación de tres niveles de temperatura de secado del

cushuro (*Nostoc* sp) en el color y porcentaje de proteína. Tesis de Grado. Universidad San Ignacio de Loyola.

Capcha, K., Naventa, E., Rios, C., & Sisa, N. (2020). Evaluación de tres niveles de temperatura de secado del cushuro (*Nostoc* sp) en el color y porcentaje de proteína. Tesis, Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú.

Cárcamo Alvarado, L. A. (2015). Comportamiento reológico de pasta de murta-ugni molinae-Turcz en estado fresco y congelado.

Celis-Pla, P. S., Rearte, T. A., Neori, A., Masojídek, J., Bonomi-Barufi, J., Alvarez-Gomez, F., ... & Figueroa, F. L. (2021). A new approach for cultivating the cyanobacterium *Nostoc calcicola* (MACC-612) to produce biomass and bioactive compounds using a thin-layer raceway pond. *Algal Research*, 59, 102421.

Chakraborty, S., Uppaluri, R., & Das, C. (2020). Optimization of ultrasound-assisted extraction (UAE) process for the recovery of bioactive compounds from bitter melon using response surface methodology (RSM). *Food and Bioprocess Technology*, 13, 114-122.

Chávez Hidalgo, L. P. (2014). Composición química y actividad antioxidante in vitro del extracto acuoso de *Nostoc sphaericum* (Cushuro), laguna Cushurococha-Junín.

CHEEKE, J (2012). *Fundamentals and applications of ultrasonic waves*. 2nd edition. Boca raton:CrC Press, 504p.

Cheftel, J. C., Cheftel, H., Besancon, P., & Desnuelle, P. (1983). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos* (Vol. 1, pp. 265-290). Acribia.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 540-560.

Chen, G., Wang, S., Feng, B., Jiang, B., & Miao, M. (2019). Interaction between soybean protein and tea polyphenols under high pressure. *Food Chemistry*, 277, 632-638.

Cheng, X., Zhang, M., Xu, B., Adhikari, B., & Sun, J. (2015). The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 27, 576-585.

Chili-Rodriguez, E.; Terrazas-Viza, I. (2010). Evaluation of the Drying Kinetics and Biological Value of Cushuro (*Nostoc sphaericum*). Bachelor's Thesis, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru.

Choque-Quispe, D., Mojo-Quisani, A., Ligarda-Samanez, C. A., Calla-Florez, M., Ramos-Pacheco, B. S., Zamalloa-Puma, L. M., ... & Kari-Ferro, A. (2022). Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (*Nostoc sphaericum*). *Foods*, 11(11), 1640.

Cinelli, G., Avino, P., Notardonato, I., & Russo, M. V. (2018). Ultrasound-vortex-assisted dispersive liquid–liquid microextraction coupled with gas chromatography with a nitrogen–phosphorus detector for simultaneous and rapid determination of organophosphorus pesticides and triazines in wine. *Analytical Methods*, 6(3), 782-790.

Clarkson, J. R., Cui, Z. F., & Darton, R. C. (2000). Effect of solution conditions on protein damage in foam. *Biochemical Engineering Journal*, 4(2), 107-114.

Condón-Abanto, S., Arroyo, C., Álvarez, I., Condón, S., & Lyng, J. G. (2019). Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). *International Journal of Food Microbiology*, 223, 9-16.

Cristas, A. S. A. (2012). *Capacidade de retenção de água e de gordura de diferentes concentrados proteicos usados em produtos cárneos emulsificados* (Doctoral dissertation, Universidade Tecnica de Lisboa (Portugal)).

da Rocha, C. B., & Noreña, C. P. Z. (2020). Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from grape pomace. *International Journal of Food Engineering*, 16(1-2), 20190191.

Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2018). *Química de alimentos de Fennema*. Artmed editora.

De Amarante, M. C. A., Braga, A. R. C., Sala, L., Moraes, C. C., & Kalil, S. J. (2020). Design strategies for C-phycoyanin purification: Process influence on purity grade. *Separation and Purification Technology*, 252, 117453.

DE PAULA, M. A. R. I. A. N. E. (2021). Obtenção de concentrado proteico do bagaço de malte através da extração assistida por ultrassom (doctoral dissertation, universidade federal do rio grande).

Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., & Stasiak, D. (2017). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3), 88-99.

Dukhin, A. S., Goetz, P. J., & Travers, B. (2020). Use of ultrasound for characterizing dairy products. *Journal of dairy science*, 88(4), 1320-1334.  
en Alimentos.

en la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Ingeniería

Engineering (Second Edition). Academic Press, New York, 403-426.

Ensminger, D., & Bond, L. J. (2011). *Ultrasonics: fundamentals, technologies, and applications*. CRC press.

Fernandes, F. A., Fonteles, T. V., Rodrigues, S., de Brito, E. S., & Tiwari, B. K. (2020). Ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and phenolics from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel: kinetics and mathematical modeling. *Journal of food science and technology*, 57, 2321-2328.

Fernandez, W. y Suyón, S. (2018). *Efecto del secado convectivo en el valor nutricional, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante in vitro del Nostoc sphaericum Vancher ex Bornet & Flahault "cushuro" procedente de Recuay*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.

Fischer, P., & Windhab, E. J. (2018). Rheology of food materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16(1), 36-40.

Flores-Jiménez, N. T., Ulloa, J. A., Silvas, J. E. U., Ramírez, J. C. R., Ulloa, P. R., Rosales, P. U. B., ... & Leyva, R. G. (2019). Effect of high-intensity ultrasound on the compositional, physicochemical, biochemical, functional and structural properties of canola (*Brassica napus* L.) protein isolate. *Food Research International*, 121, 947-956.

Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., & Luo, Z. (2020). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104726.

Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10), 164. Gallo, M.,

Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10), 164.

Genro, A. L. G. (2018). Efeito do ultrassom nas propriedades tecnológicas da proteína isolada de soja.

Genro, A. L. G. (2018). Efeito do ultrassom nas propriedades tecnológicas da proteína isolada de soja.

Gharibzahedi, S. M. T., & Smith, B. (2020). The functional modification of legume proteins by ultrasonication: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 107-116.

Gomes Gradíssimo, D., Pereira Xavier, L., & Valadares Santos, A. (2020). Cyanobacterial polyhydroxyalkanoates: A sustainable alternative in circular economy. *Molecules*, 25(18), 4331..

Gomez, A. C., Callata, M. A., Teodoro, H. C., Alarcón, B. E., Julca, J. P., & Menacho, L. M. P. (2021). Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Hábitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicinales. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231-238.

Grossmann, L., Hinrichs, J., & Weiss, J. (2019). Solubility of extracted proteins from *Chlorella sorokiniana*, *Phaeodactylum tricornutum*, and *Nannochloropsis oceanica*: Impact of pH-value. *LWT*, 105, 408-416.

Gupta, A., Eral, H. B., Hatton, T. A., & Doyle, P. S. (2016). Nanoemulsions: formation, properties and applications. *Soft matter*, 12(11), 2826-2841.

Higuera-Barraza, O. A., Del Toro-Sanchez, C. L., Ruiz-Cruz, S., & Márquez-Ríos, E. (2016). Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonics sonochemistry*, 31, 558-562.

Holdsworth, S. D. (2010). Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products. *Trans. Inst. Chem. Eng. Part C*, 71, 139-179.

Hu, H., Wu, J., Li-Chan, E. C., Zhu, L., Zhang, F., Xu, X., ... & Pan, S. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food hydrocolloids*, 30(2), 647-655.

Ibarz, A., Gonzalez, C., Esplugas, S., & Vicente, M. (1992). Rheology of clarified fruit juices. I: Peach juices. *Journal of Food Engineering*, 15(1), 49-61.

- Jambrak, A. R. (2018). Application of High Power Ultrasound and Microwave in Food Processing: Extraction. *J Food Process Technol* 3: e111. doi: 10.4172/2157-7110.1000 e111 Page 2 of 2 Volume 3• Issue 12• 1000e111 *J Food Process Technol* ISSN: 2157-7110 JFPT, an open access journal 6. Cravotto GP (2007) *Cintas, Extraction of flavourings from natural sources in modifying flavour in food*. Woodhead Publishing Limited, 3, 41-63.
- Joshi, M., Adhikari, B., Aldred, P., Panozzo, J. F., & Kasapis, S. (2011). Physicochemical and functional properties of lentil protein isolates prepared by different drying methods. *Food Chemistry*, 129(4), 1513-1522.
- Jurado, B., Fuertes, C. M., Tomas, G. E., Ramos, E., Arroyo, J. L., Cáceres, J. R., ... & Cárdenas, L. (2014). ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO, MICROBIOLÓGICO Y TOXICOLÓGICO DE LOS POLISACÁRIDOS DEL *Nostoc commune* y *Nostoc sphaericum*. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 17(1), 15-22.
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K., Álvarez, C., & O'Donnell, C. P. (2015). Ultrasound applications for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 60-67.
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K., Álvarez, C., & O'Donnell, C. P. (2015). Ultrasound applications for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 60-67.
- Kneifel, W., Paquin, P., Abert, T., & Richard, J. P. (1991). Water-holding capacity of proteins with special regard to milk proteins and methodological aspects—A review. *Journal of Dairy Science*, 74(7), 2027-2041.
- Kulisic, T., Radonic, A., Katalinic, V., & Milos, M. (2004). Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. *Food chemistry*, 85(4), 633-640.
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., ... & Kennedy, J. F. (2021). Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. *Food Hydrocolloids*, 115, 106595.
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., ... & Kennedy, J. F. (2021). Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. *Food Hydrocolloids*, 115, 106595.

- Lam, A., Can Karaca, A., Tyler, R., & Nickerson, M. (2018). Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 34(2), 126–147.
- Li, M., Guo, C., Wang, Y., Du, Z., Chen, S., Wang, Y., & Ding, K. (2020). Nostoc sphaeroids Kütz polysaccharide and powder enrich a core bacterial community on C57BL/6j mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1734-1742.
- Lozober, H. S., Okun, Z., & Shpigelman, A. (2021). The impact of high-pressure homogenization on thermal gelation of *Arthrospira platensis* (Spirulina) protein concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 74, 102857.
- Lupatini, A. L. (2016). Extração de proteínas e carboidratos da biomassa de *Spirulina platensis* e caracterização da fração proteica (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Lupatini, A. L., de Oliveira Bispo, L., Colla, L. M., Costa, J. A. V., Canan, C., & Colla, E. (2017). Protein and carbohydrate extraction from *S. platensis* biomass by ultrasound and mechanical agitation. *Food Research International*, 99, 1028-1035.
- Macário, I. P. E., Veloso, T., Romão, J., Gonçalves, F. J. M., Pereira, J. L., Duarte, I. F., & Ventura, S. P. M. (2022). Metabolic composition of the cyanobacterium *Nostoc muscorum* as a function of culture time: A <sup>1</sup>H NMR metabolomics study. *Algal Research*, 66, 102792.
- Malik, M. A., Sharma, H. K., & Saini, C. S. (2017). High intensity ultrasound treatment of protein isolate extracted from dephenolized sunflower meal: Effect on physicochemical and functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 511-519.
- Martínez, R. (2018). Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema
- Menegotto, A. L. L., de Souza, L. E. S., Colla, L. M., Costa, J. A. V., Sehn, E., Bittencourt, P. R. S., ... & Colla, E. (2019). Investigation of techno-functional and physicochemical properties of *Spirulina platensis* protein concentrate for food enrichment. *LWT*, 114, 108267.

- Mukprasirt, A., Herald, T. J., & Flores, R. A. (2017). Rheological characterization of rice flour- based batters. *Journal of Food Science*, 65(7), 1194-1199.
- Muller, H. G. (2016). *Introducción a la reología de los alimentos* (No. 664 M8Y).
- Muñoz, K. (2021). *Efecto de la temperatura y tiempo en la deshidratación del cushuro (Nostoc commune) mediante bandejas en las propiedades fisicoquímicas*. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica-Perú.
- Nesse, K. O., Nagalakshmi, A. P., Marimuthu, P., & Singh, M. (2011). Efficacy of a fish protein hydrolysate in malnourished children. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 26, 360-365.
- Neyra, F.A. (2019). *Nutritional quality and acceptability of an extruded product based on nostoc (Nostoc commune)*. Bachelor's Thesis, National University of the Altiplano, Puno, Peru; 93p.
- Ochoa, S., Durango-Zuleta, M. M., & Osorio-Tobón, J. F. (2020). Techno-economic evaluation of the extraction of anthocyanins from purple yam (*Dioscorea alata*) using ultrasound-assisted extraction and conventional extraction processes. *Food and Bioproducts Processing*, 122, 111-123.
- Ochoa-Rivas, A., Nava-Valdez, Y., Serna-Saldívar, S. O., & Chuck-Hernández, C. (2017). Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 543-555.
- Oliveros, C. E., & Gunasekaran, S. (2016). Rheological characterization of coffee mucilage. *Journal of food process engineering*, 19(3), 331-342.
- orientada a control de calidad. Tesis de grado de licenciado en Ingeniería en Alimentos
- Padilla, F. C., Alvarez, M. T., & Alfaro, M. J. (1996). Functional properties of barinas nut flour (*Caryodendron orinocense* Karst., Euphorbiaceae) compared to those of soybean. *Food Chemistry*, 57(2), 191-196.
- Pimentel-Moral, S., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., Arráez-Román, D., Martínez-Férez, A., & Segura-Carretero, A. (2018). Microwave-assisted extraction for *Hibiscus sabdariffa* bioactive compounds. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 156, 313-322.



- Ponce, E. (2014). Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. *Idesia (Arica)*, 32(2), 119-121.
- Qixin, Z. y Daubert, C. (2013). *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery*
- Quintáns, L. (2018). *Reología de productos alimenticios*. Tesis de grado de Doctora en
- Rahman, M. M., & Lamsal, B. P. (2021). Ultrasound- assisted extraction and modification of plant- based proteins: Impact on physicochemical, functional, and nutritional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1457-1480.
- Rana, A. (2017). Ultrasonic processing and its use in food industry: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 1961-1968.
- Rha, C. (2016). *Rheology of fluid foods [in food engineering systems]*. Food technology.
- Rodríguez-Ambriz, S. L., Martínez-Ayala, A. L., Millán, F., & Davila-Ortiz, G. (2005). Composition and functional properties of *Lupinus campestris* protein isolates. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60, 99-107.
- Rosales-Loaiza, N.; Laugeny, L.; Aiello-Mazzarri, C.; Morales-Avenidaño, E. (2017). Open cultures of the cyanobacteria Nostoc LAUN0015 and Anabaena MOF015 for the production of enriched biomass. Pilot tests for mass cultures. *CENIC J. Biol. Sci*, 48, 81–86.
- Ruiz-Domínguez, M. C., Fuentes, J. L., Mendiola, J. A., Cerezal-Mezquita, P., Morales, J., Vílchez, C., & Ibáñez, E. (2021). Bioprospecting of cyanobacterium in Chilean coastal desert, *Geitlerinema* sp. molecular identification and pressurized liquid extraction of bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 128, 227-239.
- Russo, M. V., Avino, P., & Notardonato, I. (2019). Fast analysis of phthalates in freeze-dried baby foods by ultrasound-vortex-assisted liquid-liquid microextraction coupled with gas chromatography-ion trap/mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1474, 1-7.
- Santana, G. S., de Oliveira Filho, J. G., & Egea, M. B. (2017). Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4(2), 88-95.

Santana, G. S., de Oliveira Filho, J. G., & Egea, M. B. (2017). Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4(2), 88-95.

Seibel, N. F., & Beléia, A. D. (2009). Características químicas e funcionalidade tecnológica de ingredientes de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]: carboidratos e proteínas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12(2), 113-122.

Síllice, A. R. E. (2019). Theoretical and experimental study of different chemical routes to synthesize crystalline sodium metasilicate from silica-rich sand estudio teórico y experimental de diferentes rutas químicas para sintetizar metasilicato de sodio cristalino a partir de. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(2).

Silva, R. T. B. D. (2008). *Ultradiluições Magnesia phosphorica 12C e Ferrum metallicum 12C em SDS e nos sistemas hidropônicos de soja e feijão*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

Steffe, J. F. (2015). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press.

Sullca Grimaldez, L. (2018). *Efecto de ultrasonido de alta intensidad sobre propiedades reológicas de proteína de soja nativa* (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Tafur Medina, I. A., & Obregón Dionicio, E. D. (2019). Gomitas funcionales de cushuro (*Nostoc commune*) enriquecida con aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) y spirulina (*Arthrospira platensis*), con sabor a frutas.

Téllez-Morales, J. A., Hernández-Santo, B., & Rodríguez-Miranda, J. (2020). Effect of ultrasound on the techno-functional properties of food components/ingredients: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 61, 104787.

Tipwalee J., Sasithorn K., (2019). Functional Properties and Applications of Egg White Protein Hydrolysates. *Journal of Food Technology*, Siam University, Vol.14 No.1 January - June 2019

Tirapegui, J. (2002). Nutrição. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 38, 246-247.

Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España.

Verruck, S., & Prudencio, E. S. (2018). *Ultrassom na indústria de alimentos: Aplicações no processamento e conservação*. Ponta Grossa: Editora Atena, 39.

Vílchez, H. (2017). Efecto de la temperatura sobre la capacidad antioxidante del Cushuro (*Nostoc commune vaucher*). En Facultad de Medicina Humana y Ciencias de la Salud UAP. 33-39.

Vinatoru, M. (2018). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics sonochemistry*, 8(3), 303-313.

Wada, N., Sakamoto, T., & Matsugo, S. (2013). Multiple roles of photosynthetic and sunscreen pigments in cyanobacteria focusing on the oxidative stress. *Metabolites*, 3(2), 463-483.

Wagner, C. E., Barbati, A. C., Engmann, J., Burbidge, A. S., & McKinley, G. H. (2017). Quantifying the consistency and rheology of liquid foods using fractional calculus. *Food Hydrocolloids*, 69, 242-254.

Wang, S. H., Meneses, S. P., Lima, E. C. D. S., REZENDE, R. D. S., & Torrezan, R. (2010). Efeitos dos parâmetros de branqueamento dos grãos de soja em algumas propriedades tecnológicas de suas farinhas Effects of soybean bleaching parameters on some technological properties of their flours. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 21(2), 283-290.

Xu, J., Zhu, S., Zhang, M., Cao, P., & Adhikari, B. (2021). Combined radio frequency and hot water pasteurization of *Nostoc sphaeroides*: Effect on temperature uniformity, nutrients content, and phycocyanin stability. *LWT*, 141, 110880.

Zhang, W., Zhang, C., Yang, R., & Zhang, Y. (2018). Ultrasound-assisted extraction of proteins from sunflower meal: Impact of extraction time and pH. *Food Chemistry*, 269, 149-155.

## VII. ANEXOS

### Anexo 1

TABLA DE RESULTADOS SEGÚN DISEÑO EXPERIMENTAL

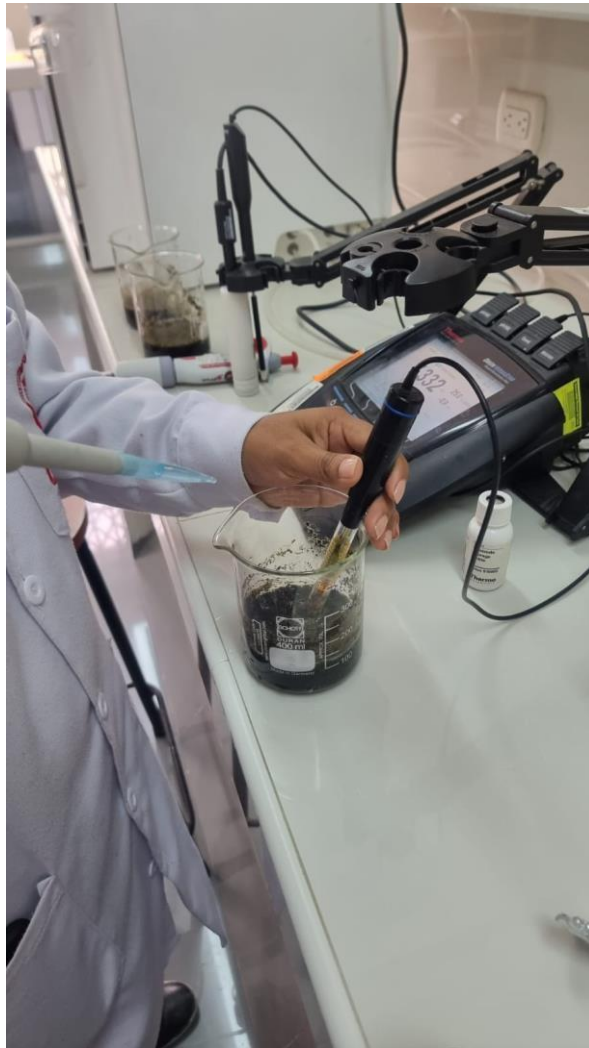
<b>BLOQUE</b>	<b>Tiempo de sonicación (min)</b>	<b>Temperatura de sonicación (°C)</b>	<b>%Proteína</b>	<b>Capacidad Retencion Agua (mL/g)</b>	<b>Capacidad Retencion Grasa (mL/g)</b>
1	30	30	21.6G	3.75	2.15
1	50	30	28.67	3.55	2.25
1	70	30	35.23	3.62	2.11
1	30	40	21.87	3.75	2.12
1	50	40	22.33	3.71	2.04
1	70	40	41.22	3.78	2.31
1	30	50	15.8	3.82	2.08
1	50	50	47.67	3.7G	2.26
1	70	50	43.22	3.8	2.26
2	30	30	22.7G	3.63	2.16
2	50	30	27.G	3.62	2.32
2	70	30	34.34	3.76	2.14
2	30	40	20.27	3.61	2.1
2	50	40	23.54	3.85	2.06
2	70	40	42.24	3.71	2.26
2	30	50	14.G8	3.77	2.17
2	50	50	46.76	3.82	2.27
2	70	50	42.45	3.85	2.21

Anexo 2  
Secado del Cushuro

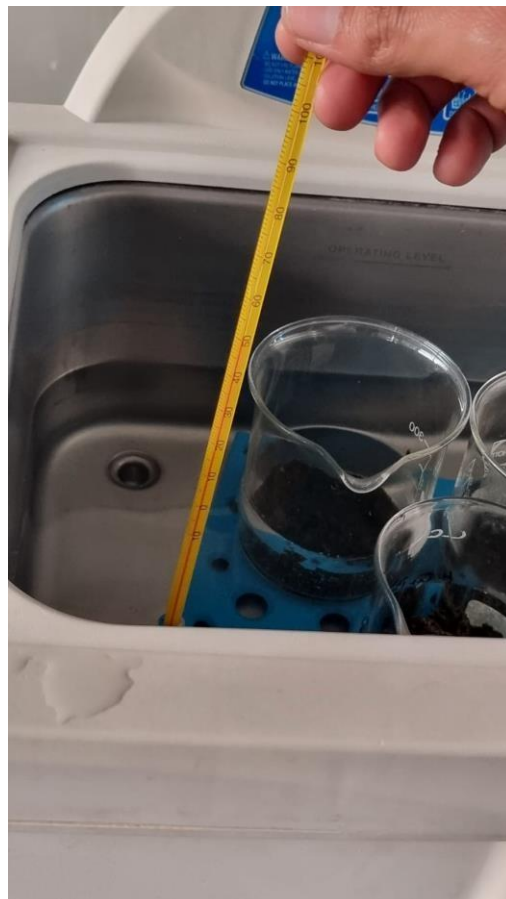
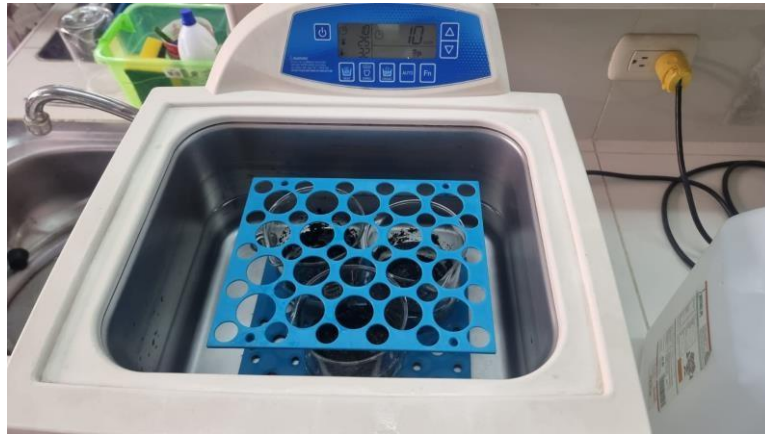


### Anexo 3 Extracción por Ultrasonido











Anexo 4  
Agitación y Centrifugado del Extracto proteico de Cushuro



Anexo 5  
Determinación de Proteínas del Extracto proteico de Cushuro





Anexo 6  
Determinación de Ceniza

