



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y
SENSORIALES DE FILETES DE TRUCHA ARCOIRIS
(*Oncorhynchus mykiss*) CONGELADO POR INMERSIÓN Y
ASISTIDO POR ULTRASONIDO CON DIFERENTES NIVELES DE
FRECUENCIA Y POTENCIA**

TESIS

PRESENTADA POR:

ERICK ANTHONY ARIZACA SOLOISOLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO - PERÚ

2024



ERICK ANTHONY ARIZACA SOLOISOLO

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE FILETES DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynch*

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega trn:oid::8254:415162729	117 Páginas
Fecha de entrega 11 dic 2024, 3:05 p.m. GMT-5	21,198 Palabras
Fecha de descarga 11 dic 2024, 3:09 p.m. GMT-5	117,813 Caracteres
Nombre de archivo EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE FILETES DE TRUCHA AR....docx	
Tamaño de archivo 8.7 MB	





13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.




Dr. Alejandro Coloma Paxi
INGENIERO AGROINDUSTRIAL
CIP: 68697



Dr. Mises Alvarado Momani
Sub Director de Investigación
EPIAI-FCA





DEDICATORIA

Agradezco a Dios por ser mi guía constante y mi fortaleza durante este viaje académico. Su amor incondicional y su dirección han sido mi luz en los momentos de desafío, inspirándome a perseverar y a alcanzar este logro. Que este trabajo sea un testimonio de mi gratitud y mi fe en Su bondad.

Con inmensa gratitud dedicado a mi padre Ricardo Arizaca y a mi madre Sandra Soloisolo a que con su sacrificio, apoyo incondicional y motivación constante en la formación profesional y con su amor incondicional han hecho posible el logro de mi profesión.

A mis hermanas Angela, Alexandra, Saraí, por el aliento constante han sido mi mayor fortaleza. Gracias por ser mi apoyo inquebrantable a lo largo de este camino académico.

"Para quienes siempre creyeron en mí."

"Para aquellos que iluminaron mi camino."

Erick Anthony Arizaca Soloisolo.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía constante y fortaleza en los momentos difíciles, permitiéndonos alcanzar esta meta significativa y brindándonos una vida plena de aprendizaje y felicidad.

A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, agradezco por la oportunidad de formarme y a los docentes para impartirme los conocimientos fundamentales durante mi carrera.

Un reconocimiento especial al Dr. Alejandro Coloma Paxi, mi director de tesis, por su paciencia, generosidad y apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

Agradezco profundamente a los miembros del jurado, M.Sc. Pablo Parí Huarcaya, M.Sc. César Paul Laqui Vilca y Dr. Ronald Astete Tebes, por su constante respaldo en la culminación de esta investigación.

A mis padres, Ricardo Arizaca y Sandra Soloisolo, y a mis herman@s, agradezco por su amor, consejos y apoyo incondicional durante mi formación académica y la elaboración de este proyecto. A mis amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, gracias por compartir aventuras y momentos inolvidables.

Erick Anthony Arizaca Soloisolo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. MARCO TEÓRICO	24
2.2.1. Generalidades de la trucha	24
2.2.1.1. Características generales	24
2.2.1.2. Clasificación taxonómica de la trucha	25
2.2.2. Estructura muscular.....	26
2.2.2.1. Composición química	27
2.2.2.2. Estadísticas de recursos.....	28



2.2.2.3. Sector acuícola	29
2.2.3. Producto congelado	30
2.2.4. Congelación.....	31
2.2.4.1. Procesos de congelación	33
2.2.4.2. Curvas de congelación	34
2.2.5. Tiempos de congelación.....	35
2.2.5.1. Modelos matemáticos de congelación	36
2.2.5.2. Factores que influyen en el tiempo de congelación	39
2.2.5.3. Cristalización de agua	39
2.2.5.4. Nucleación	41
2.2.5.5. Propagación o desarrollo de cristales de hielo	42
2.2.5.6. Recristalización.....	43
2.2.6. Congelación por inmersión ultrasónica.....	44
2.2.6.1. Efectos de la congelación sobre la calidad de los alimentos.....	44
2.2.6.2. Desnaturalización de la proteína por congelación	45
2.2.6.3. Descongelación	46
2.2.7. Ultrasonido.....	47
2.2.7.1. Aplicación del ultrasonido en alimentos.....	48
2.2.7.2. Cavitación	50
2.2.7.3. Factores que afectan la cavitación	51

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	53
3.2. MATERIA PRIMA.....	53
3.2.1. Materiales.....	53



3.2.2. Equipos	54
3.2.3. Software	54
3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	55
3.3.1. Descripción del diagrama de flujo	56
3.4. FACTORES DE ESTUDIO	58
3.4.1. Variables de respuesta.....	58
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	59
3.5.1. Tiempo de congelación	59
3.5.2. Determinación de pH	60
3.5.3. Determinación de color	61
3.5.4. Determinación de textura	62
3.5.5. Determinación de pérdida de peso por descongelación	62
3.5.6. Determinación de oxidación de lípidos.....	64
3.5.7. Determinación de análisis sensorial	65
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	67
3.6.1. Diseño estadístico para evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades fisicoquímicas de los filetes de trucha Arcoiris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) congelada por inmersión ultrasónica. 67	
3.6.2. Diseño experimental para el análisis sensorial de filetes de trucha Arcoiris a diferentes niveles de potencia y frecuencia.	68
3.6.2.1. Diseño estadístico para evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades sensoriales de los filetes de trucha Arcoiris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) congelada por inmersión ultrasónica.	68



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA POTENCIA DE ULTRASONIDO Y LA FRECUENCIA	70
4.1.1. Tiempo	70
4.1.2. pH	73
4.1.3. Color	75
4.1.4. Pérdida de peso.....	82
4.1.5. Textura	85
4.1.6. Oxidación de lípidos.....	87
4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA POTENCIA DE ULTRASONIDO Y LA FRECUENCIA EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES.	89
V. CONCLUSIONES.....	92
VI. RECOMENDACIONES.....	93
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	103

Área : Ingeniería y tecnología

Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

Fecha de sustentación: 13 de diciembre del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Composición nutricional de la trucha Arcoiris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	28
Tabla 2 Exportación de productos congelados.....	30
Tabla 3 Exportación de productos congelados.....	31
Tabla 4 Propiedades del hielo en función de la temperatura.	43
Tabla 5 Diseño experimental.	68
Tabla 6 Escala de calificación para el análisis sensorial.....	69



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Trucha Arcoiris	25
Figura 2 Estructura muscular.....	27
Figura 3 Curva de congelación.....	34
Figura 4 Curvas de tiempos de congelación.....	35
Figura 5 Diagrama de fases del agua. L: agua líquida; Ih: Hielo hexagonal; Ic: Hielo cúbico; II a IX otras formas cristalinas.	41
Figura 6 Fenómeno de cavitación durante el ultrasonido de alta intensidad.....	51
Figura 7 Diagrama de flujo de proceso de congelación por inmersión asistida por ultrasonido.....	55
Figura 8 Tiempos de Congelación en Diferentes Tratamientos	70
Figura 9 pH de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias.....	73
Figura 10 Luminosidad de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias.....	75
Figura 11 Color verde-rojo de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias.....	78
Figura 12 Color azul-amarillo de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias y frecuencias	80
Figura 13 Pérdida de peso por congelación de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias.	82
Figura 14 Textura de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias	85
Figura 15 Oxidación de lípidos de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias. .	87
Figura 16 Análisis sensorial de filetes de trucha arcoíris a dos potencias y tres frecuencias.	89



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Análisis de varianza para la variable tiempo de congelación	103
ANEXO 2 Análisis de varianza para la variable independiente pH.....	104
ANEXO 3 Análisis de varianza para la variable color L*	104
ANEXO 4 BAnálisis de varianza para la variable color a*	105
ANEXO 5 Análisis de varianza para la variable color b*.....	105
ANEXO 6 Análisis de varianza para la pérdida de peso	106
ANEXO 7 Análisis de varianza para la textura.....	106
ANEXO 8 Análisis de varianza para oxidación de lípidos	107
ANEXO 9 Análisis de varianza para análisis sensorial.....	108
ANEXO 10 Análisis de varianza para atributo	108
ANEXO 11 Análisis de varianza para análisis.....	109
ANEXO 12 Análisis de varianza para análisis.....	109
ANEXO 13 Análisis fisicoquímico: índice de peróxidos – filete de trucha Arcoiris.	110
ANEXO 14 Ficha de evaluación sensorial.....	111
ANEXO 15 Panel fotográfico.....	112
ANEXO 16 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	116
ANEXO 17 Autorización el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	117



ACRÓNIMOS

US:	Ultrasonido
KHz:	kiloHertz
W:	Watt
Kg:	Kilogramo
°C:	Grados Celsius
mL:	Mililitro
g/L:	Gramo por litro
g/mL:	Gramo por mililitro
pH:	Potencial de hidrógeno
%:	Porcentaje
(v/v)%:	Porcentaje volumen-volumen
ANVA:	Análisis de varianza
L*:	Luminosidad
a*:	Coordenada rojo/verde [rojo (+) a verde (-)].
b*:	Coordenada amarillo/azul [amarillo (+) a azul (-)].
NTP:	Normas Técnicas Peruanas
UIF:	Ultrasonic Inmersión Freezing (congelación por inmersión ultrasónica)
IF:	Inmersión Freezing (congelación por inmersión)
F:	Freezing (congelación)
cm:	centímetro
msnm:	metros sobre el nivel del mar
RPM:	Revoluciones por minuto
mg:	miligramos



Hr: Hora
Min: minutos



RESUMEN

La congelación de productos hidrobiológicos mediante métodos convencionales ha sido una práctica extendida, aunque su eficiencia no siempre resulta óptima. En este contexto, la tecnología de ultrasonido surge como una alternativa prometedora para mejorar las características fisicoquímicas y sensoriales de estos productos. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de filetes de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) congelados por inmersión, utilizando diferentes niveles de frecuencia (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz) y potencia (150 W y 300 W) de ultrasonido. Se analizaron diversas características fisicoquímicas como el pH, la pérdida de peso, el color, el tiempo de congelación, la oxidación de lípidos, así como características sensoriales que incluyen el color, el olor, el sabor y la textura. Los resultados indicaron que la potencia y la frecuencia no afectaron significativamente sobre el pH, la pérdida de peso ni el color, pero tuvieron un impacto considerable en la oxidación de lípidos y el tiempo de congelación. En particular, se observó que una potencia de 300 W y una frecuencia de 80 KHz resultaron en mejores propiedades sensoriales y una reducción del tiempo de congelación en un 50%. Estos hallazgos sugieren que la congelación por inmersión ultrasónica puede ser una técnica efectiva para mejorar tanto las características fisicoquímicas como sensoriales de los productos pesqueros, cuando se utilizan niveles óptimos de potencia y frecuencia. En conclusión, la tecnología de ultrasonido preserva las propiedades fisicoquímicas de los filetes de trucha Arcoiris, además reduce el tiempo de procesamiento, ofreciendo una solución eficiente y efectiva en la conservación de productos hidrobiológicos.

Palabras clave: Congelación, Frecuencia, Potencia, Propiedades fisicoquímicas.



ABSTRACT

The freezing of hydrobiological products using conventional methods has been a widespread practice, although its efficiency is not always optimal. In this context, ultrasound technology emerges as a promising alternative to improve the physicochemical and sensory characteristics of these products. This study aimed to evaluate the physicochemical and sensory properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets frozen by immersion, using different levels of ultrasound frequency (25 KHz, 50 KHz, and 80 KHz) and power (150 W and 300 W). Various physicochemical characteristics such as pH, weight loss, color, freezing time, and lipid oxidation were analyzed, along with sensory characteristics including color, odor, flavor, and texture. The results indicated that power and frequency did not significantly affect pH, weight loss, or color, but had a considerable impact on lipid oxidation and freezing time. Specifically, it was observed that a power of 300 W and a frequency of 80 KHz resulted in better sensory properties and a 50% reduction in freezing time. These findings suggest that ultrasonic immersion freezing can be an effective technique for improving both the physicochemical and sensory characteristics of fish products when optimal power and frequency levels are used. In conclusion, ultrasound technology preserves the physicochemical properties of rainbow trout fillets and reduces processing time, offering an efficient and effective solution for the preservation of hydrobiological products.

Keywords: Freezing, Frequency, Power, Physicochemical properties.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La congelación de productos hidrobiológicos mediante métodos convencionales ha sido ampliamente utilizada en la industria alimentaria debido a su capacidad para extender la vida útil de los productos y preservar sus características sensoriales. Este proceso es eficaz en la retención del aroma, color y valor nutritivo del producto, y ha sido una práctica estándar en la conservación de alimentos. La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en particular, es un producto de alto valor nutricional que se beneficia de estos métodos de conservación (Blanco & Hanco, 2020). En la región de Puno, la piscicultura se ha desarrollado con un enfoque exportador, produciendo trucha de alta calidad que cumple con los estándares internacionales (Zirena et al., 2021)

Sin embargo, la congelación convencional tiene sus limitaciones. La formación de cristales de hielo no uniformes puede dañar la estructura del producto, afectando negativamente su textura y calidad sensorial. Estudios recientes han mostrado que la aplicación del ultrasonido durante la congelación puede mejorar significativamente la calidad del producto al formar cristales de hielo más pequeños y uniformes. Esta técnica ha demostrado ser eficaz en la conservación de diversos productos alimentarios, mejorando sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Qiu et al., 2020)

A pesar de los avances en la aplicación del ultrasonido en la congelación de alimentos, aún falta investigar cómo diferentes niveles de potencia y frecuencia del ultrasonido afectan específicamente las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la trucha arcoíris. La mayoría de los estudios se han centrado en otros tipos de pescado o productos alimentarios, y los resultados no siempre son directamente aplicables a la trucha arcoíris debido a sus características únicas. Además, no se ha explorado



suficientemente cómo la combinación de diferentes parámetros de ultrasonido puede optimizar el proceso de congelación para este tipo de producto específico.

Otro aspecto que requiere mayor investigación es el impacto a largo plazo de la congelación asistida por ultrasonido en la calidad del producto durante el almacenamiento. Si bien se ha demostrado que el ultrasonido puede reducir la oxidación de lípidos y mejorar la textura inmediatamente después de la congelación, es necesario comprender mejor cómo estos beneficios se mantienen durante el tiempo de almacenamiento. Estudios longitudinales que evalúen la calidad del producto a lo largo de varios meses serían valiosos para determinar la efectividad a largo plazo de esta técnica.

La aplicación del ultrasonido se puede usar como un enfoque de conservación más eficiente aplicado a productos congelados, así mismo, la congelación asistida con ultrasonido es una técnica complementaria potencial para mejorar el rendimiento óptimo en un proceso de congelación puesto que la aplicación de éste puede mantener mejor la microestructura, así como también disminuye los cambios generados durante la congelación en color y textura (Qiu et al., 2020). Por otro lado estudios han demostrado que la aplicación del ultrasonido a diferentes velocidades de potencia y frecuencia aumentó significativamente la velocidad de congelación (Xuan et al., 2021). De igual manera utilizaron la congelación asistida por ultrasonido para mejorar el tiempo de congelación y la mejora del producto final (Zhang et al., 2019). Además la aplicación del ultrasonido en procesos de conservación ofrece muchas ventajas como la velocidad de congelación, ahorro de energía y la mejora de las características fisicoquímicas de un producto congelado (Chemat et al., 2017).



Un factor muy importante en las bajas temperaturas de congelado de alimentos es la formación de cristales de hielo a partir del agua que se encuentra presente en el producto. Los problemas asociados al congelado convencional se basan en la formación de cristales de hielo no uniformes teniendo como consecuencia la destrucción de la estructura del afectando la calidad del alimento (Sadot, et al., 2020).

Este estudio tiene como objetivo evaluar sistemáticamente el impacto de diversos niveles de potencia y frecuencia de ultrasonido en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de filetes de trucha arcoíris durante la congelación por inmersión. Al ajustar estos parámetros, se busca determinar las condiciones óptimas que mejoren la calidad del producto, reduciendo la oxidación de lípidos y manteniendo la textura, color y sabor. Este enfoque experimental generará datos específicos que abordarán la falta de información en la literatura existente.

Asimismo, se propone realizar un seguimiento del producto durante su almacenamiento para analizar cómo los diferentes parámetros de ultrasonido afectan su calidad a largo plazo. Este estudio longitudinal permitirá evaluar tanto los beneficios inmediatos como el impacto prolongado del ultrasonido en la conservación del producto. Los resultados proporcionarán una base sólida para aplicar la congelación asistida por ultrasonido en la industria de la trucha arcoíris, mejorando la competitividad y calidad de estos productos en el mercado global.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de filetes de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) congelados por inmersión asistida por ultrasonido con diferentes niveles de potencia y frecuencia.



1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades fisicoquímicas de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.
- Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades sensoriales de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Shi et al. (2019) realizó un estudio con el propósito de investigar el ultrasonido de potencia, evaluando sus efectos sobre la tasa de congelación de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) a diferentes niveles de potencia tanto en el marinado como en la congelación por inmersión. En este estudio, se aplicó ultrasonido a $0,38 \text{ W/cm}^2$ durante la congelación por inmersión, lo que redujo significativamente la etapa de preenfriamiento, la transmisión de fase y el tiempo total de congelación ($p < 0.05$). Para proteger la estructura muscular, se trató de acelerar el congelamiento utilizando ultrasonido a diferentes niveles de potencia (90 KHz, 180 KHz, 270 KHz, 360 KHz). En este proceso de congelación por inmersión, se analizó que el congelado por inmersión promueve significativamente la oxidación de lípidos, mientras que el marinado ultrasónico a $0,60 \text{ W/cm}^2$ por una hora y media, a más tiempo provoca un daño visible en la estructura muscular de la carpa.

Zhang, et al.(2019) realizaron un estudio para investigar los efectos de la congelación por inmersión asistida por ultrasonido a 180 W en la microestructura, calidad y distribución de agua en los músculos de cerdo durante el congelado. Se encontró que el tamaño de los cristales de hielo aumentó con el tiempo de congelación, pero las muestras asistidas por ultrasonido a 180 W presentaban cristales de hielo más pequeños y una distribución más uniforme. En comparación con la congelación por aire y la congelación por inmersión convencional, las muestras tratadas con ultrasonido a 180 W mostraron un tamaño de cristal significativamente menor ($P < 0,05$). Además, las muestras de congelación por aire tenían una mayor fuerza de corte al inicio (0 días). Durante el



almacenamiento de 60 a 180 días, las muestras de congelación por inmersión asistida por ultrasonido a 180 W presentaron una oxidación lipídica significativamente menor y un mayor enrojecimiento en comparación con las muestras de congelación por aire y por inmersión convencional ($P < 0,05$). En conclusión, la congelación por inmersión asistida por ultrasonido a 180 W es un método eficiente para reducir el deterioro de la calidad de los músculos durante el congelado a largo plazo.

Sun, et al. (2019) evaluaron los efectos de la congelación por inmersión asistida por ultrasonido a diferentes niveles de potencia ultrasónica de (150 KHz, 175 KHz, 200 KHz, 225 KHz) en estructuras primarias, secundarias y terciarias de la proteína en la carpa común (*Cyprinus carpio*), como también se estudió la estabilidad térmica de la proteína, la microestructura del tejido muscular. El ultrasonido con una potencia inferior a 175 W no tuvo un impacto significativo en la estructura primaria de la proteína, ya que este nivel no causó daños a dicha estructura ($p < 0,05$). En esta investigación, se examinaron los cristales de hielo a una potencia de 175 W, observando que eran más pequeños y uniformes. Esto minimizó los daños en el tejido muscular provocados por los cristales de hielo y preservó la integridad de la membrana celular de los músculos (sarcolema). Además, la congelación asistida a una potencia de 175 W demostró una mayor estabilidad térmica en las proteínas, reduciendo de manera efectiva las alteraciones estructurales en la proteína de la carpa común y manteniendo la estabilidad térmica de la proteína durante el proceso de congelación.

Sun, Zhao, et al.(2019a) realizaron un estudio del efecto de la congelación por inmersión asistida por ultrasonido sobre la velocidad de congelación y la calidad de la carpa común (*Cyprinus Carpio*) a diferentes niveles de potencia ultrasónica, en donde los resultados obtenidos en este estudio revelaron que la congelación por inmersión asistida por ultrasonido aumentó la velocidad de congelación, siendo óptima la congelación por



inmersión asistida por ultrasonido a un nivel de 175 W en comparación con la congelación del refrigerador y la congelación por inmersión. Las muestras de congelación por inmersión asistida con ultrasonido tuvieron menos pérdida de descongelación y cocción. También se observó la microestructura a 175 W, en la cual se redujo el diámetro de poro y el tamaño de cristal de hielo. Se cree que a medida que la potencia ultrasónica aumente, también se estudió el valor L, el cual disminuyó primero y luego aumentó ($p < 0,05$). Por lo tanto, la congelación por inmersión asistida por ultrasonido a una potencia óptima redujo significativamente el tiempo de congelación en las muestras de pescado y mejoró la calidad de su carne.

Chuhan et al., (2022) evaluaron los efectos de congelación asistida por ultrasonido a diferentes velocidades de congelación, las características y composición de la estructura de la corvina amarilla grande fueron más obvios que los de la congelación asistida por ultrasonido simple (SUF) a una frecuencia de 20 KHz y la congelación doble asistida por ultrasonido (DUF) con una frecuencia de 20 y 28 kHz. Los resultados mostraron que la UAF aumentó significativamente la velocidad de congelación y mejor conservó la calidad de las grandes muestras congeladas de corvina amarilla. Específicamente, los parámetros de calidad de las muestras tratadas con TUF fueron más cercanos a los de las muestras frescas, con mayores características de textura, una mayor capacidad de retención de agua (menor pérdida por descongelación y pérdida por cocción). Las imágenes de observación de microscopía óptica revelaron que los cristales de hielo formados por TUF eran finos y estaban distribuidos uniformemente, lo que resultó en menos daño a las grandes muestras congeladas de corvina amarilla. Por lo tanto, la UAF multifrecuencia podría mejorar las propiedades de calidad de las grandes muestras de corvina amarilla.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Generalidades de la trucha

La Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) o más conocido como trucha de agua dulce se ha convertido en una especie dominante a nivel mundial por alto valor nutritivo es por ello que la piscicultura tiene tradiciones antiguas que remontan quizá a 5000 años en Asia, y más de mil años en América del sur a menudo con especies de agua dulce puesto que estos se mantienen en estanques. Así mismo la trucha Arcoiris es la segunda especie más grande, con casi 97.000 toneladas vendidas anualmente (Aas et al., 2022)

En el año 2021, en Puno se convirtió en el principal productor y exportador de trucha de la variedad Arcoiris a nivel nacional así mismo se precisa que la disponibilidad actual del producto de una intensiva producción acuícola, la producción acuícola en la región puno es continua durante todo el año a diferencia de otros salmónidos es estacional principalmente durante los meses de verano (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022).

2.2.1.1. Características generales

La trucha es una especie que se encuentra cubierta de finas escamas además de ello posee un cuerpo, fusiforme, de forma alargada la parte dorsal de su cuerpo suele ser azul verdoso, color marrón o verde oliva. Todo su cuerpo, incluidas las aletas y cola, está cubierto por unas manchas negras y atravesado por una línea rojiza por los laterales de su cuerpo. El vientre es blanco perlado de color plateado; es un pez resistente y fácil de desovar en ambientes naturales, de crecimiento rápido según la alimentación de este, tolerante a una amplia gama de ambientes de acuerdo

a la edad y tamaño de la trucha y manipulaciones. En su fase de alevines se alimentan de zooplancton o principalmente de algas marinas (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022), también se caracteriza por su carne de coloración anaranjada y muy apreciada debido al delicado sabor de su carne, y se les captura en los ríos de agua dulce, se crían artificialmente en jaulas denominados criaderos (Aas et al., 2022).

En cuanto a la acuicultura, la trucha ha logrado un lugar destacado como una de las especies de mayor producción en piscifactorías, tanto en países con climas templados como en zonas más frías. La trucha, perteneciente a la familia Salmonidae, es un pez de agua dulce reconocido por su capacidad de adaptación a variados entornos acuáticos, siendo frecuente hallarla en ríos, arroyos y lagos de aguas frías y transparentes. Su relevancia en la pesca recreativa y su prominencia en la acuicultura son aspectos que la distinguen y valoran (Aas et al., 2022).

Figura 1

Trucha Arcoiris



Nota: (Gil Arango, 2020)

2.2.1.2. Clasificación taxonómica de la trucha

Según (MINAG, 2008) Clasificación taxonómica de la trucha.



Nombre Científico: *Oncorhynchus mykiss*

Reino: Animal

Clase: Osteichyes

Sub clase: Actinopterygii

Orden: Salmoniformes

Familia: Salmonidae

Género: *Oncorhynchus*

Especie: *mykiss*.

Nombres Comunes: Trucha, trucha arcoíris.

2.2.2. Estructura muscular

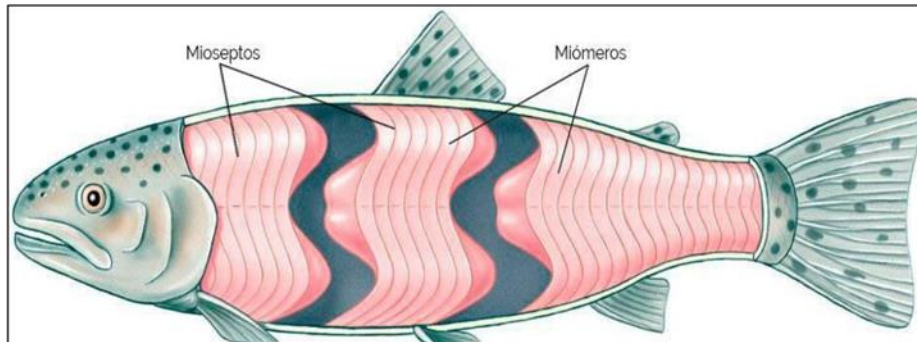
La formación de los músculos de la trucha es de segmentos angulares formado por capas de tejidos musculares llamados miotomos las cuales están unidos por el tejido conjuntivo. La anatomía del músculo de la trucha difiere de la anatomía de los animales terrestres, porque carece del sistema tendinoso (tejido conectivo) que conecta los paquetes musculares al esqueleto del animal (Puntaca, 2019). En cambio, los peces tienen células musculares en forma paralela en su estructura muscular que son separadas perpendicularmente por tabiques de tejidos conectivos llamados miocomata, ancladas al sistema óseo y así mismo a la piel (Fritsch & Pessah, 2013).

Las fibras musculares de la trucha también están organizadas en forma paralela, lo que contribuye a la eficiencia de su contracción y desplazamiento. Este patrón estructural asegura una transmisión uniforme de la fuerza a lo largo del cuerpo del pez, permitiendo movimientos ondulatorios rápidos y flexibles.

Además, este tipo de disposición muscular otorga a la trucha una mayor capacidad para mantener un movimiento sostenido y de alta velocidad durante períodos prolongados.(Aas et al., 2022b)

Figura 2

Estructura muscular



Nota: (Gil, 2020; Puntaca, 2019).

2.2.2.1. Composición química

La trucha arcoíris refleja un equilibrio entre factores como la dieta, el entorno y la edad. El contenido de grasa y proteínas muestra variaciones significativas que impactan tanto en su valor nutricional como en su utilización en acuicultura y gastronomía. No obstante, el contenido de ceniza se mantiene constante, lo que indica una estabilidad en la proporción de minerales esenciales dentro del cuerpo de la trucha. Estas características hacen que la trucha arcoíris sea una especie versátil y valorada tanto desde el punto de vista nutricional como comercial. (Aas et al., 2022).

Tabla 1

Composición nutricional de la trucha Arcoiris (Oncorhynchus mykiss).

Composición	1	2	3	4	5
Humedad	75.8	73.09	76.57	75.0	70.6
Grasa	3.1	7.22	3.44	1.00	10.0
Proteína	19.5	17.5	18.45	20.90	18.3
Ceniza	1.2	1.2	1.27	3.00	-
carbohidratos	0.4	0.79	-	-	-

Nota:(Bao et al., 2023)

Existe la información que generalmente el alto valor proteico de la trucha es de buena calidad y de fácil ingesta. Así mismo se afirma que la variedad Arcoiris es una especie de alto valor nutricional, fuente de vitaminas de complejo B, tales como la tianina (vit.B1), riboflavina(vit.B2) y niacina ,además de ello tiene una alta concentración de calorías con una mínima cantidad de colesterol (Aas et al., 2022).

2.2.2.2. Estadísticas de recursos

El dinamismo del sector acuícola y la asociatividad de la industria ha permitido que la truchicultura sea uno de los principales motores constantes y exitosos debido al incremento de un 22 % el total de las exportaciones o desembarque con diferentes destinos unos al consumo directo y otros al sector de procesamiento con el fin de dar un valor agregado, generando más de 60mil empleos directos e indirectos (BCRP, 2022).

Para la FAO el sector acuícola o pesquero no solo ayuda a disminuir el hambre y la desnutrición al entregar alimentos con alto valor



proteico, ácidos grasos, vitaminas y minerales que son netamente esenciales para el sistema inmunológico es por ello que también mejora la seguridad alimentaria al crear empleos y aumentar los ingresos de las personas. El junio del 2022, Perú representó un 28.6% a igual que el anterior año de la producción de trucha destinada a la conservación mediante el congelado, no hubo incremento debido las condiciones demográficas generadas por el cambio climático (Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos, 2022).

2.2.2.3. Sector acuícola

Las cosechas al mes de julio del 2021 fueron de 2 687,8 toneladas, es por ello que es inferior con respecto al 2022 del mismo mes teniendo un incremento de 1 mil TM con una variación del 14 % tal como muestra en el siguiente cuadro y uno de los principales recursos que corresponden a la trucha arcoíris denominado trucha crianza, trucha natural y pejerrey aportando con una variación de un 14 % interanual en junio definió el comportamiento del sector debido a que representó el 99,7 por ciento del Valor Bruto de Producción (VBP) pesquero regional, en cuanto a las demás especies, creció la extracción de trucha natural (101,7 por ciento), mauri (60,0 por ciento), pejerrey (38,5 por ciento) y carachi (17,1 por ciento); mientras que disminuyó la pesca de ispi (- 10,1 por ciento) (BCRP, 2022).

Tabla 2*Exportación de productos congelados.*

Producción pesquera 1/ (tonelada métrica)	Julio			Enero – julio		
	2021	2022	Var %	2021	2022	Var %
Consumo humano directo	2698,9	3094,3	14,7	19518	26079	33,6
Boga	0,0	0,0	–	0,0	0,0	–
Carachi	3,2	3,8	17,1	24,6	23,6	–3,9
Ispi	3,0	2,7	–10,1	16,6	14,8	–10,7
Suche	0,0	0,0	–	0,0	0,0	–
Mauri	0,3	0,5	60,0	1,7	2,1	19,4
Pejerrey	2,8	3,9	38,5	19,7	21,6	9,9
Trucha natural	1,8	3,5	101,7	14,3	18,7	30,9
Trucha crianza	2687,8	3079,9	14,6	19441,4	25997,7	33,7
Sector pesca 1			14,7			33,7

Nota: (BCRP, 2022)

2.2.3. Producto congelado

En Perú, el subsector acuícola desempeña un papel significativo en las exportaciones de productos congelados, representando un considerable 65 % del total. Dentro de este subsector, Puno contribuye con un modesto 3 %. Según datos del INEI y el Ministerio de la Producción del 2021, a pesar de que las cifras de exportación de productos congelados se han mantenido estables en toneladas métricas, esta línea de exportación en Puno ocupa el quinto lugar entre los departamentos que participan en el comercio de productos acuícolas. Esta continuidad en las cifras de exportación resulta ser un dato de relevancia en la constancia de esta actividad económica (Costa, 2018).

Tabla 3*Exportación de productos congelados.*

EXPORTACION DE PRODUCTOS DE LA PESCA MARITIMA, SEGÚN GIRO INDUSTRIAL,
2012-2021

(MILES DE TONELADAS
METRICAS BRUTAS)

GIRO INDUSTRIAL	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TOTAL	2158.6	1458.6	1529.9	1275.7	1083.6	1611.5	1552.4	1805.5	1559.3
CONSUMO HUMANO DIRECTO	1606.4	946.8	982.3	800	720.1	1196.8	1158.5	1241.8	967.2
HARINA DE PESCADO	1334.7	849	847	681.4	623.5	1023.6	1003	1058.3	858.9
ACEITE CRUDO DE PESCADO	271.7	97.8	135.3	118.6	96.6	173.1	155.5	183.5	108.3
CONSUMO HUMANO DIRECTO	498.5	464.5	492.3	444.6	339.1	391.6	6	371.7	514.1
ENLATADO	46.4	41	31	26.9	19.3	22.3	24.3	23.6	20.6
CONGELADO	414.4	414.4	387.3	385.3	293.3	336.1	311	487.8	469.7
CURADO	37.6	37.6	36.2	32.4	26.5	33.2	36.4	2.6	42.4
VARIOS	53.7	47.3	55.3	31.1	24.4	23.1	22.2	49.6	59.5

Nota: (BCRP, 2022; Bonett & Precios, 2022).

2.2.4. Congelación

La congelación es un proceso físico-químico complejo, además de ello es una operación unitaria para la conservación de alimentos en el que se impide el crecimiento de microorganismos. Al bajar la temperatura de un alimento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ la cantidad de agua que contiene el alimento cambia de estado líquido a sólido convirtiéndose en cristales de hielo, esto reduce la cantidad de agua el estado líquido aumentando la concentración de solutos, sin embargo este método de conservación a largo plazo de un alimento preservando el sabor original ocurre cambios adversos como la desnaturalización de proteínas y la oxidación de lípidos, que son las causas principales de la disminución de la calidad sensorial del alimento y estos cambios pueden acelerarse por la quemadura por congelación y cuando el alimento se descongela y se expone al aire hace que los cambios fisicoquímicos se aceleren (Zhang et al., 2019).



La congelación lenta y la recristalización causan daño celular, lo que resulta en la pérdida de componentes celulares. Esto se manifiesta como un exudado en el que se pierden diversos compuestos con valor nutricional, es importante llevar a cabo la descongelación de manera que se minimicen ciertos fenómenos, como el crecimiento de microbios, la pérdida de líquidos, la deshidratación y las pérdidas debidas a reacciones de deterioro. La descongelación controlada generalmente se realiza a una temperatura ligeramente superior al punto de descongelación, como por ejemplo, a temperatura de refrigeración (Carranza, 2019).

Como se mencionó anteriormente, mantener el producto a temperaturas ligeramente inferiores a 0 °C por un período prolongado es desaconsejable, ya que exponen el producto a concentraciones relativamente altas de solutos y favorece el crecimiento de microorganismos psicrófilos (MINAG, 2008).

Aunque la congelación es el método más popular para la conservación de alimentos a largo plazo, la formación de cristales de hielo durante el proceso a menudo conduce a la degradación de la calidad del producto (Okuda et al., 2020).

El principio de la congelación como método de conservación de alimentos se basa en convertir el agua en hielo, este aislamiento o separación del agua en forma de hielo produce el efecto de deshidratación del alimento, bloqueando la actividad enzimática y el desarrollo de microorganismos y la reducción de la tasa de oxidación de los lípidos del alimento (Sadot, Curet, Chevallier, Le-Bail, et al., 2020).

Según la FAO, (2014) la calidad de la trucha congelada depende de la materia prima mucho antes de ser congelada, de su manipulación pre y post



congelación, de las condiciones de procesamiento (temperatura, tipo, velocidad de congelación así mismo el almacenaje del producto congelado (tipo y temperatura de almacenaje).

2.2.4.1. Procesos de congelación

La congelación es el método de preservación originado por la reducción de temperatura inferior de aquella que comienza a formar los cristales de hielo, es por ello que en la congelación de alimentos en el proceso no precisa la temperatura de inicio es decir que no existe punto de congelación definido puesto que hay parámetros que varían en este proceso del congelamiento de su centro térmico es por ello que el proceso de congelación consiste en diferentes etapas:

- Precongelación: Enfriamiento y super enfriamiento de la fase líquida del producto hasta que comienza a cristalizarse.
- Crecimiento de los cristales o congelación es donde existe el cambio de fase líquida a sólida o es donde existe el punto de fusión donde se visualiza claramente en la imagen. Para el caso de un alimento, se considera como una aproximación que podría considerarse como una solución acuosa, T es la temperatura es en la que aparece los primeros cristales de hielo esta siempre por debajo del punto de fusión de agua, pero en el cambio de fase lo realiza con una temperatura variable, cristalizando la solución concentrada, lo que hace un salto en la temperatura conocido también como punto eutéctico.

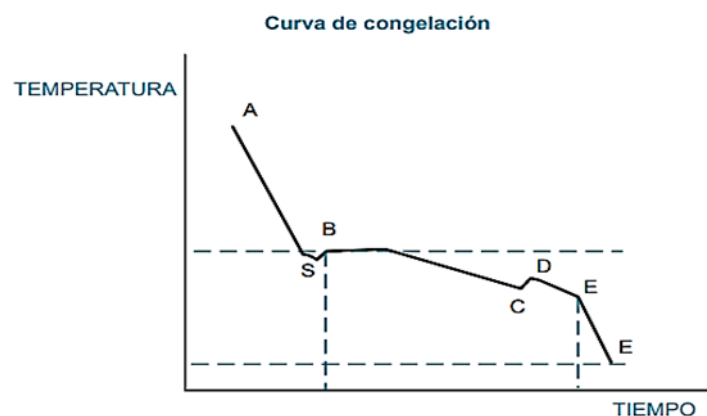
- Posterior enfriamiento del producto congelado o también conocido como descenso de temperatura próximamente lineal esto ocurre cuando se concluye con el congelamiento (Orrego, 2015).

2.2.4.2. Curvas de congelación

Las curvas de congelación son cruciales para determinar la eficiencia de los procesos de congelación en alimentos. Permiten optimizar tiempos de enfriamiento, minimizar la formación de cristales grandes y preservar las propiedades sensoriales y nutricionales del producto final.

Figura 3

Curva de congelación



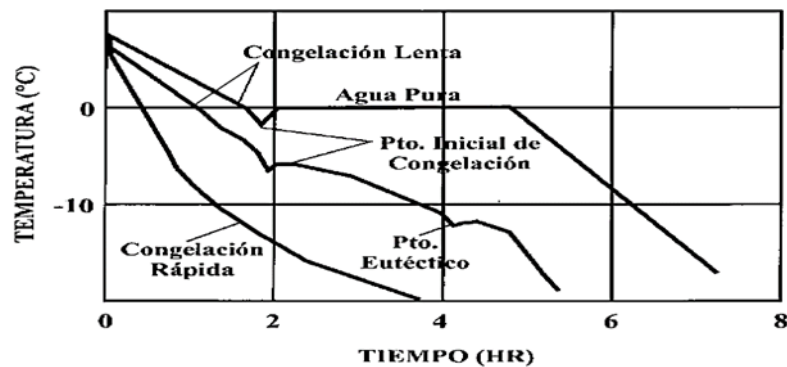
Nota: (Orrego, 2015).

La curva de congelación o más conocido como proceso de congelación, es más complejo que la congelación de agua pura, por qué generalmente los alimentos contienen solutos muy diferentes es por ello que presentan un comportamiento diferente a los demás productos congelados. La evolución de la temperatura con relación al tiempo durante el proceso de congelación se le denomina curva de congelación

muy típica de una solución que muestra la siguiente figura (Umaña Cerros, 2005).

Figura 4

Curvas de tiempos de congelación



Nota: Umaña, (2005).

2.2.5. Tiempos de congelación

La duración real de la fase de congelación depende de diferentes factores, unos son relacionados al alimento a congelar y otros al equipo utilizado, de estos los más importantes son:

- Forma del producto y dimensiones (espesor).
- -Temperatura de punto de partida y final.
- Temperatura del refrigerante.

De la misma forma el Coeficiente de la temperatura inicial es superficial del producto, Variación de entalpía (la entalpía consiste en energía sensible debajo del punto de congelación) y Conductividad térmica del producto (Cerros, 2005).

El tiempo de congelación es de gran importancia para el diseño del proceso. Este tiempo es un dato necesario para determinar la velocidad de congelación, así mismo es el momento en que su punto crítico alcanza la



temperatura final de congelación, esta va en relación con la capacidad del sistema de congelación. La predicción del tiempo de congelación puede basarse en métodos numéricos y en métodos aproximados para que se forme una determinada cantidad de cristales de hielo (Brennan et al., 1998).

2.2.5.1. Modelos matemáticos de congelación

- Ecuación de nagaoka

Este método establecido por de Jimenez-Avalos et al., (2013), considera que el tiempo de residencia de las partículas en el congelador es por lo menos igual al tiempo de congelación de la partícula.

El congelador tiene una longitud de correa L (m) y ancho W (m) con una alimentación másica F (kg/s), el producto tiene una temperatura inicial T_i (°C) y el fluido gaseoso enfriado tiene una temperatura T_f (°C).

El tiempo de congelación es estimado por el modelo de Nagaoka (Ho, Peter; Vieira, 2008).

$$T_c = [1 + 0.008(T_i - T_e)] \frac{\Delta H \rho \alpha}{T_e - T_f} \left(\frac{D_p}{6h} + \frac{D_p^2}{24h} \right) \quad (1)$$

T_c : Temperatura de congelación

T_i : Temperatura inicial

T_e : Temperatura que comienza la congelación (°C)

ΔH : Cambio de entalpía del producto desde T_i a T_e (J/kg)

T_f : Temperatura final del producto congelado (°C)

ρ_a : Densidad del alimento (kg/m³)



D_p : Diámetro de la partícula (m)

El cambio de entalpía ΔH puede calcularse por medio de:

$$\Delta H = C_{ps}(T_i - T_e) + Y_o \lambda_f W + C_{pe}(T_c - T_f) \quad (2)$$

Donde:

C_{ps} : Calor específico de la partícula no congelada (J/kg C)

C_{pe} : Calor específico de la partícula congelada (J/W C)

Y_o : Contenido de agua de la partícula en base húmeda

λ_f : Calor de solidificación del agua (J/1-g)

W : Fracción de hielo a la temperatura T_r .

El ΔH se puede calcular a partir de los gráficos de entalpía versus humedad o las tablas correspondientes (Jimenez & Avalos et al., 2013).

Además, es posible calcular la cantidad de calor que la partícula transfiere al entorno utilizando:

$$q = h (T_s - T_f) \quad (3)$$

Donde:

q : flujo de calor (W/m^2)

h : Es el coeficiente de transferencia de calor por convección ($W//m^2 \cdot K$), que depende del tipo de flujo (laminar o turbulento) y las propiedades del fluido.

T_s : temperatura en la superficie de la partícula ($^{\circ}C$).



Tf: Temperatura final de congelación.

- **Velocidad de congelación**

La velocidad a la que avanza el frente de congelación hacia el interior del producto a congelar no se mantiene constante; en cambio, varía a medida que se incrementa la distancia desde la superficie externa del producto en el proceso de congelación (Orrego, 2015).

Esto puede expresarse mediante una igualdad diferencial:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{K(T-T_f)}{\rho L} \quad (4)$$

Donde:

$\frac{dx}{dt}$: Velocidad de congelación (espesor de la capa congelada por unidad de tiempo, en m/s)

K : Es la conductividad térmica del producto (W/m·K).

T: Temperatura inicial del material (K o °C)

Tf: Temperatura final del material (K o °C)

ρ : Es la densidad del producto (kg/m³).

L : Es el calor latente de fusión del producto (J/kg).

Según Orrego, (2015) menciona que la calidad de un producto congelado está ligada a la rapidez con la que se lleva a cabo el proceso de congelación. Esta velocidad se determina como la distancia mínima entre la superficie y el punto crítico dividido por el tiempo que el punto crítico tarda en cambiar de 0 °C a -15 °C.



- Lenta: $< 1\text{cm/h}$, por ejemplo un congelador doméstico con el aire inmóvil a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Media: $1\text{-}5\text{ cm/h}$, en un túnel de aire frío a 20 cm/h y $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Rápida: $> 5\text{cm/h}$, en la inmersión en nitrógeno líquido.

2.2.5.2. Factores que influyen en el tiempo de congelación

Los métodos de congelación y las condiciones de almacenamiento, como la velocidad de congelación y el tiempo de almacenamiento, influyen sustancialmente en la calidad de la carne congelada. Además, el crecimiento de cristales de hielo dentro del tejido muscular durante el almacenamiento congelado es un problema de calidad porque la recrystalización de los cristales de hielo puede provocar el debilitamiento de la estructura física del músculo (Damodaran & Wang, 2017). Además, la pérdida por goteo y la pérdida de valor nutricional en el músculo todavía pueden ocurrir durante el proceso de congelación/descongelación, lo que modifica negativamente la calidad del producto final y la aceptabilidad de los productos cárnicos por parte del consumidor (Figueirêdo et al., 2014).

2.2.5.3. Cristalización de agua

Una vez que el agua comienza a congelar, la cristalización es una función de enfriamiento o también es cuando empieza a bajar la temperatura, al mismo tiempo la velocidad de la difusión del agua a partir de las disoluciones de este, así mismo la velocidad de congelación aumenta, los cristales de hielos van incrementan, mientras que el tamaño de hielo disminuye (congelación lenta : cristales de hielos



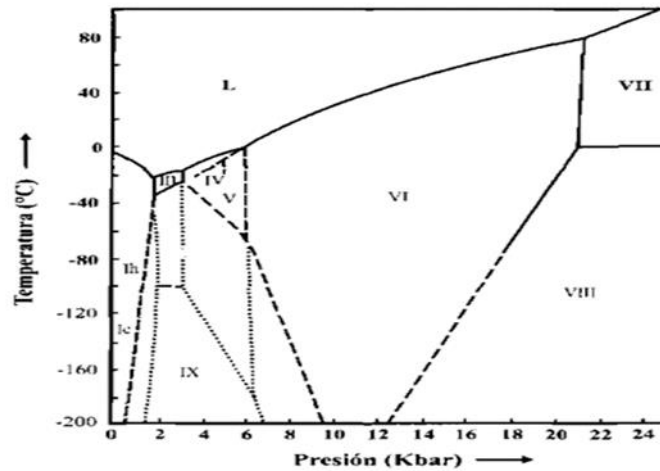
macroscópicos)(congelación rápida: más cristales de hielos y más pequeños) (Cerros, 2005).

Las moléculas de agua pueden asociarse debido a las fuerzas de la tracción de los enlaces de hidrogeno con cuatro moléculas de agua, de forma que cada átomo de oxigena se une, mediante los enlaces covalentes con los átomos de hidrogeno, este tipo de uniones por extensión da una estructura hexagonal característica del hielo formado por uniones de tetraedros, en términos de incremento de cristales de hielo (Bogdanova et al., 2022).

Un cristal puede definirse como un sólido formado por átomos, iones o moléculas, que guardan una distribución ordenada y repetitiva. La cristalización es u proceso donde forman partículas sólidas a partir de una fase homogénea, la comprensión de este proceso es clave para una amplia gama de aplicaciones científicas y tecnológicas (Orrego, 2015).

Figura 5

Diagrama de fases del agua. L: agua líquida; Ih: Hielo hexagonal; Ic: Hielo cúbico; II a IX otras formas cristalinas.



Nota: (Orrego, 2015).

El agua puede existir en distintas formas la cual depende de la presión y la temperatura a la cual este sometida, a una determinada presión atmosférica la congelación del agua se hace en cristales de estructura hexagonal (Orrego, 2015).

2.2.5.4. Nucleación

Es el proceso que antecede a la cristalización, es el comienzo de una fase inestable a otra más estable durante esta etapa es posible reducir el punto de congelación mediante sobre enfriamiento y estimular la nucleación de hielo, En teoría, interferir en el proceso de nucleación del hielo en la congelación junto con tecnologías emergentes puede prevenir la formación de cristales de hielo grandes y dar como resultado cristales de hielo pequeños y minimizar el daño por congelación (Zhao et al., 2017).



2.2.5.5. Propagación o desarrollo de cristales de hielo

Al congelar un producto la propagación o el crecimiento de cristal, lo que se va congelando paulatinamente es el agua que este contiene, al momento de iniciar la congelación del agua, mientras que la cantidad de cristales de hielo aumente la temperatura del hielo va disminuyendo así el punto de congelación. El hecho de que un producto congelado esté completamente congelado no significa que esté completamente congelado, por ejemplo con el pescado: a -3°C el porcentaje de agua congelada es del 80%, a -20°C el porcentaje es del 94% y a -57°C el porcentaje es del 100%, pero en estas no se toma el 100% de agua no congelada, es decir el porcentaje corresponde a atado al agua ligada (Maquera, 2009).

Según Bhargava, Mor, Kumar, & Sharanagat, (2021) menciona que durante la congelación la eliminación lenta del calor hace que la congelación sea también lenta, produciendo cristales de hielo de tamaño mayor pero en menor número, lo que favorece la rotura de las paredes celulares y conducen a una pérdida de fluidos y cambios de textura en el momento de la descongelación. De igual forma (Zhang, Haili, Chen, Xia, & Kong, 2018) cabe señalar que los cristales de hielo formados durante la congelación afectan las propiedades de los productos congelados. La tasa de crecimiento de los cristales es mayor cuando el proceso de congelación es lento o se forman múltiples procesos de congelación/descongelación debido al movimiento del agua desde el espacio intracelular al extracelular, lo que promueve la formación de grandes cristales de hielo. que afecta la estructura celular.

El enfriamiento rápido reduce la migración de agua al espacio extracelular y, por lo tanto, promueve la formación de un apropiado hielo intracelular más pequeño, Esto permite determinar que el calor intenso debe transferirse rápidamente al alimento, Además, es importante considerar que el mal uso de la cadena de frío también es posible que causa exudación, como la recristalización y los eventos de crecimiento de los cristales de hielo (Maquera, 2009).

En la siguiente tabla 4 se muestra algunos datos térmicos del hielo.

Tabla 4

Propiedades del hielo en función de la temperatura.

Temperatura °C)	Conductividad térmica (W/m·K)	Calor específico (kJ/kg · K)	Densidad (kg/m ³)
-101	3.50	1.382	925.8
-73	3.08	1.587	924.2
-45.5	2.72	1.783	922.6
-23	2.41	1.922	919.4
-18	2.37	1.955	919.4
-12	2.32	1.989	919.4
-7	2.27	2.022	917.8
0	2.22	2.050	916.2

Nota: (Maquera, 2009)

2.2.5.6. Recristalización

El agua cristalizada (congelada) en el sistema de cristales está sujeta a un cambio de tamaño y forma que por regla general depende del tiempo y de su energía superficial libre. En la naturaleza todos los sistemas evolucionan con energía libre disminuida. Hay varios tipos de recristalización que pueden ocurrir en los alimentos. La más importante



es la recristalización migratoria, que tiene lugar cuando hay oscilaciones de temperaturas bajo cero a lo largo de la cadena de frío (Tan et al., 2021).

2.2.6. Congelación por inmersión ultrasónica

Una de las congelaciones más eficaces es mediante la congelación por inmersión ultrasónica además de ello este proceso que utiliza las ondas ultrasónicas para que sea más rápida debido a que los cristales de hielo son más pequeños y más eficaces a otros métodos convencionales, además de ello mejora la calidad sobre las muestras, no afectan la calidad del producto final puesto que tiene una menor pérdida de nutrientes debido de que este ayuda a retener los nutrientes en comparación de otros procesos de congelación más lentos así mismo las partículas de hielo son significativamente son más pequeñas lo cual reduce el tiempo de procesamiento al ser un proceso más rápido también influye en la eficiencia energética al reducir el tiempo de consumo energético, este tipo de congelación es una técnica innovadora que puede resultar especialmente efectiva en ciertas aplicaciones de procesamiento de alimentos (Chen et al., 2022).

2.2.6.1. Efectos de la congelación sobre la calidad de los alimentos

Con la mejora de la calidad de vida de las *personas*, las necesidades alimentarias de los consumidores aumentan día a día. La congelación, refrigeración y descongelación de alimentos son esenciales en el procesamiento de alimentos sólidos por lo tanto la baja temperatura inhibe el crecimiento de microorganismos, ralentiza la actividad de las enzimas y preserva el sabor y los nutrientes originales de los alimentos y para poder prolongar el tiempo de conservación de los alimentos, es necesario reducir



los factores que afectan la calidad de los alimentos durante el procesamiento de alimentos sólidos (Li et al., 2022).

Agregando a lo anterior por otra parte según Yang, (2022) tuvo como ejemplo, la formación y distribución de cristales de hielo tiene efectos esenciales en las células de los alimentos durante la congelación puesto que es necesario controlar el crecimiento de los cristales de hielo por ello durante el proceso de descongelación, la oxidación de los lípidos es uno de los indicadores críticos que afectan la calidad y es necesario considerar cómo mejorar la estabilidad de los lípidos.

Mas aun durante el proceso de refrigeración, las actividades de microorganismos y enzimas aceleran el deterioro de los alimentos. Es necesario mejorar la calidad de los alimentos inactivando microorganismos e inhibiendo la actividad de las enzimas (Xu et al., 2022).

2.2.6.2. Desnaturalización de la proteína por congelación

El daño por congelación de los alimentos ricos en proteínas es un fenómeno complejo que involucra la destrucción de la estructura del tejido muscular esto ocurre cuando la proteína se somete a temperaturas muy bajas, la ruptura de la membrana celular, el cambio en la presión osmótica, el cambio en la estructura de las proteínas y la desnaturalización de las proteínas, generalmente esto se da cuando ocurren cambios en la estructura secundaria y terciaria de las proteína que debido a la complejidad de la composición de los materiales alimentarios y la compleja cinética y termodinámica asociada con la congelación, a su vez este puede afectar su



capacidad de realizar sus funciones biológicas es un desafío comprender completamente la destrucción de alimentos ricos en proteínas mediante la congelación estos cambios pueden ser irreversibles (Sun, Chen, et al., 2019).

Así mismo la desnaturalización de proteínas inducida por el almacenamiento congelado de filetes cárnicos es causada por la oxidación de lípidos y la oxidación de proteínas que fue acelerada por los ciclos de congelación que provocan la alteración del tejido dañando las fibras musculares provocando un cambio en los grupos aminos y en las estructuras secundarias y terciarias de la proteína, las moléculas de agua presentes en el medio se cristalizan y pueden interactuar con las proteínas. Esto puede llevar a la formación de cristales de hielo que pueden dañar las estructuras de las proteínas (Zhang et al., 2017).

2.2.6.3. Descongelación

Según Yoon et al.,(2018) menciona que cuando un alimento se descongela, la capa de hielo superficial se derrite, creando una capa de agua líquida con propiedades térmicas inferiores a las del agua en estado sólido. Esto hace que el calor se transfiera más rápidamente hacia el interior del alimento, aumentando el efecto aislante a medida que la capa descongelada se hace más grande. Por esta razón, la descongelación de un alimento es más lenta que su congelación cuando se tiene el mismo gradiente de temperatura el método de descongelación del refrigerador doméstico convencional aumenta la temperatura del congelador durante la operación de descongelación y la eficiencia de descongelación se reduce



porque el calentador consume más energía que la cantidad de escarcha en la superficie del intercambiador de calor. Para resolver este problema, se proponen tres métodos de control del calentador de descongelación, aplicables a refrigeradores equipados con calentadores de conducción y radiación.

Hoy en día, los frigoríficos y congeladores son electrodomésticos comunes que consumen una cantidad considerable de energía anualmente. La formación de escarcha en la superficie del evaporador es inevitable en estos dispositivos y suele tener un impacto negativo notable. La descongelación periódica es necesaria en los frigoríficos domésticos, lo que conlleva un aumento en el consumo de energía y la temperatura dentro del compartimento. Este artículo presenta los descubrimientos clave sobre las características de formación de escarcha y descongelación en frigoríficos y congeladores, según la literatura existente entre 2000 y 2023. En la primera parte, se resumen las investigaciones sobre la formación de escarcha, incluyendo un análisis de los factores que influyen en este proceso en el evaporador (Llave & Sakai, 2018).

2.2.7. Ultrasonido

El ultrasónico es una tecnología innovadora de conservación y análisis de alimentos. Recientemente, la tecnología UIF ha jugado un papel importante en la reducción del tiempo de congelación y la mejora de la calidad de los alimentos congelados. El ultrasonido puede producir cavitación y micro transmisión, que juegan un papel importante en la reducción del tiempo de congelación. Las burbujas de cavitación pueden actuar como núcleos de hielo primarios, y la fuerza



mecánica producida por el estallido de las burbujas de cavitación puede romper los cristales de hielo que se habían generado en tamaños más pequeños, que nuevamente actúan como núcleos primarios (Sun, Zhao, et al., 2019).

La frecuencia de ultrasonidos son magnitudes de ondas (KHz) que no son visibles, 1 KHz significa 1 ciclo de onda por segundo y es un parámetro muy importante que afecta en el resultado final de un proceso de congelación así mismo indica que la frecuencia aumentó la tasa de congelación y tuvo una menor pérdida por descongelación, aumenta el rendimiento y eficiencia de cavitación provocando cambios microestructurales en la dispersión uniforme del hielo (Bian et al., 2022). La aplicación de ultrasonido a diferentes niveles de potencia(W) durante la congelación por inmersión redujo significativamente el tiempo de congelación y la microestructura de las muestras congeladas. También se encontraron resultados similares en la congelación de pescado encontraron que el tejido de los filetes congelados con congelación asistida por ultrasonido a mayor potencia exhibía una estructura celular superior en comparación con las muestras congeladas sin aplicar ultrasonido de potencia (Zhang et al., 2019).

2.2.7.1. Aplicación del ultrasonido en alimentos

Los principios físicos y químicos empleados por los ultrasonidos difieren notablemente de los aplicados en los métodos tradicionales para extraer, procesar y conservar alimentos. La integración del ultrasonido en la industria alimentaria ha generado una revolución en los procedimientos de manufactura y la calidad de los productos alimenticios. Desde mejorar la conservación hasta perfeccionar la textura y el valor nutricional, el ultrasonido se ha convertido en un componente esencial. Su aplicación en



tareas como la emulsificación, desinfección, aseguramiento de calidad y extracción de compuestos bioactivos ha impulsado avances sustanciales en la eficiencia de la producción y la garantía de seguridad alimentaria. Esta tecnología exhibe beneficios notables en términos de productividad y rendimiento (Chemat et al., 2016).

Zhang et al., (2022) en su investigación menciona que el ultrasonido ha destacado como una herramienta adaptable y de gran valor en la industria alimentaria. En particular, el empleo de ultrasonidos de alta intensidad puede bloquear la actividad microbiana al desintegrar moléculas grandes, como las enzimas, y posiblemente modificar y desglosar proteínas naturales en fragmentos más pequeños, conocidos como péptidos. Por otro lado Chemat & Khan, (2011) mencionan que la utilización de ultrasonidos con intensidad óptima potencia la permeabilidad de la membrana en las células, mejorando así su efectividad. Además, con niveles de potencia acústica lo suficientemente altos, se ha evidenciado que los ultrasonidos tienen la capacidad de romper células; este proceso, conocido como ultrasonificación, es una técnica de laboratorio bien establecida para este fin.

Su capacidad para mejorar la calidad de los alimentos, prolongar su vida útil, eliminar microorganismos no deseados y optimizar los procesos de producción ha generado un cambio significativo en la manera en que se elaboran y procesan los alimentos. Desde tareas como la limpieza y desinfección hasta la extracción de nutrientes, el ultrasonido ha explorado aplicaciones innovadoras que contribuyen significativamente

tanto a la calidad como a la seguridad de los alimentos que forman parte de nuestra dieta diaria (Tiwari, 2015).

2.2.7.2. Cavitación

El ultrasonido de potencia mejora los cambios químicos y físicos en un medio líquido a través de la generación y posterior destrucción de burbujas de cavitación. Cuando un líquido es sometido a un ultrasonido suficientemente potente, el líquido es alternativamente comprimido y expandido, formando pequeñas burbujas o cavidades (Speranza et al., 2021).

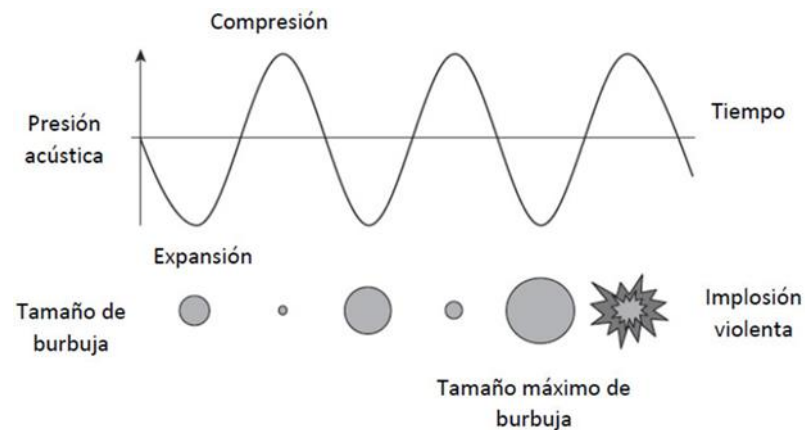
Varios mecanismos pueden ser activados por ultrasonidos de potencia tales como calentamiento, turbulencia, agitación, fricción, inestabilidad superficial, y otros. Aunque no todos los mecanismos involucrados en el ultrasonido de potencia son conocidos o bien comprendidos, en la alimentaria la mayoría de ellos puede atribuirse a un fenómeno no lineal muy complejo conocido como cavitación (Pérez-Campos et al., 2016).

Estas burbujas reaccionan y crecen con los ciclos de compresión y expansión de la onda ultrasónica lo que hace que se expandan y cuando alcanzan un tamaño crítico, finalmente se derrumban. Este proceso se ilustra en la Figura 6. El colapso de las burbujas puede ser tan violento que puede causar daños considerables al medio circundante. Sin embargo, este calor es transitorio y muy localizado, por lo que el aumento de la temperatura global en la matriz es relativamente bajo, alrededor de -5°C .

Cuando el ultrasonido de potencia se utiliza en combinación con la congelación convencional el tratamiento de ultrasonido aumenta.

Figura 6

Fenómeno de cavitación durante el ultrasonido de alta intensidad.



Nota: (Pérez-Campos et al., 2016).

2.2.7.3. Factores que afectan la cavitación

La cavitación inducida por ultrasonido, estamos adentrándonos en un proceso fascinante que cuando se aplican ondas ultrasónicas a un líquido, suceden cosas sorprendentes. Estas ondas generan cambios de presión, creando pequeñas burbujas llenas de gas o vapor en el líquido (Kamal et al., 2023).

Estas burbujas se forman y empiezan a crecer gracias a la energía de estas ondas, cuando estas burbujas empiezan a moverse, expandiéndose y contrayéndose rápidamente. Llegan a un punto en el que, colapsan y liberan una cantidad increíble de energía. Estamos hablando de ondas de choque, pequeños chorros y altas temperaturas, todo concentrado en un espacio muy pequeño, estos efectos pueden ser útiles para la conservación



de alimentos, en reacciones químicas específicas o incluso en la producción de emulsiones, la frecuencia y la amplitud de estas ondas ultrasónicas son como el director de orquesta. Controla el tamaño de las burbujas y cómo colapsan. Frecuencias más bajas suelen generar burbujas más grandes que, al colapsar, liberan más energía. Mientras que frecuencias más altas pueden evitar que se formen burbujas por completo, es así cómo las ondas ultrasónicas las manipulan nos da un poder increíble para todo tipo de aplicaciones, al campo de la conservación de alimentos desde la medicina hasta la industria y la investigación (Yamashita & Ando, 2019).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación ha evaluado las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelados por inmersión asistida por ultrasonido. Este estudio se realizó en el Laboratorio de Post-Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIAI) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP), a una altitud de 3827 m.s.n.m. (longitud oeste: 15° 50' 15" · latitud sur: 70° 01' 18", de la región Puno.

3.2. MATERIA PRIMA

Truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de seis meses de edad, provenientes de Piscifactorías Los Andes S. A.

3.2.1. Materiales

- Vasos precipitados (Pyrex, 10 mL, 50 mL, 100 mL y 250 mL).
- Piseta (plástico, capacidad 500 mL).
- Recipientes de vidrio ámbar y herméticos (100 mL y 500 mL).
- Cronómetro digital (celular Poco F3).
- Cuchillo (Tramontina, 10 cm).
- Adhesivo para rotular (Cinta Masking Pegafan 500 blanco, 1x40 yd).
- Bandejas (aluminio, 44 cm x 31,5 cm x 5 cm).
- Pipetas volumétricas (1 mL, 5 mL y 10 mL).
- Probetas (100 mL y 250 mL).
- Papel aluminio.



- Matraz Erlenmeyer (Pyrex, 100 mL, 250 mL y 500 mL).
- Plumón indeleble (Faber Castell 421-M, color negro).
- Regla metálica de 20 cm.
- Tablas de fileteo.
- Agua destilada (CIELO, 1 galón).

3.2.2. Equipos

- Colorímetro (MeterTo, SC20; cromático CIEL*a*b* lectura directa).
- Balanza analítica (SARTORIUS, CP323S, cap. 320 g x 1 mg).
- Balanza electrónica (DIGITAL PRECISION, KIN-2200AP, cap. 8000 g).
- Agitador magnético (OVAN, MCG15E, velocidad: 100 rpm a 1250 rpm).
- Refrigerador (LEHEL, G07593, T°: -18°C a 5°C).
- Licuadora (OSTER, BLSTKAGBPB).
- Ultrasonido (ULTRASONIC GENERATOR/P:0-300/F:0/80, computador).
- Congeladora Horizontal (OMEGA, OCH-110S, T°: -86°C a 0°C)
- Texturómetro (BROOKFIELD, CT3 10K TEXTURE ANALIZER).
- pH-metro (MILWAUKEE, Mi 150).
- Termómetro digital multicanal (AZ88598 TIPO K, T°: -50°C a 300°C).
- Termómetro de vidrio (BOECO, ZI-260/ T°C: -20°C a 150°C).

3.2.3. Software

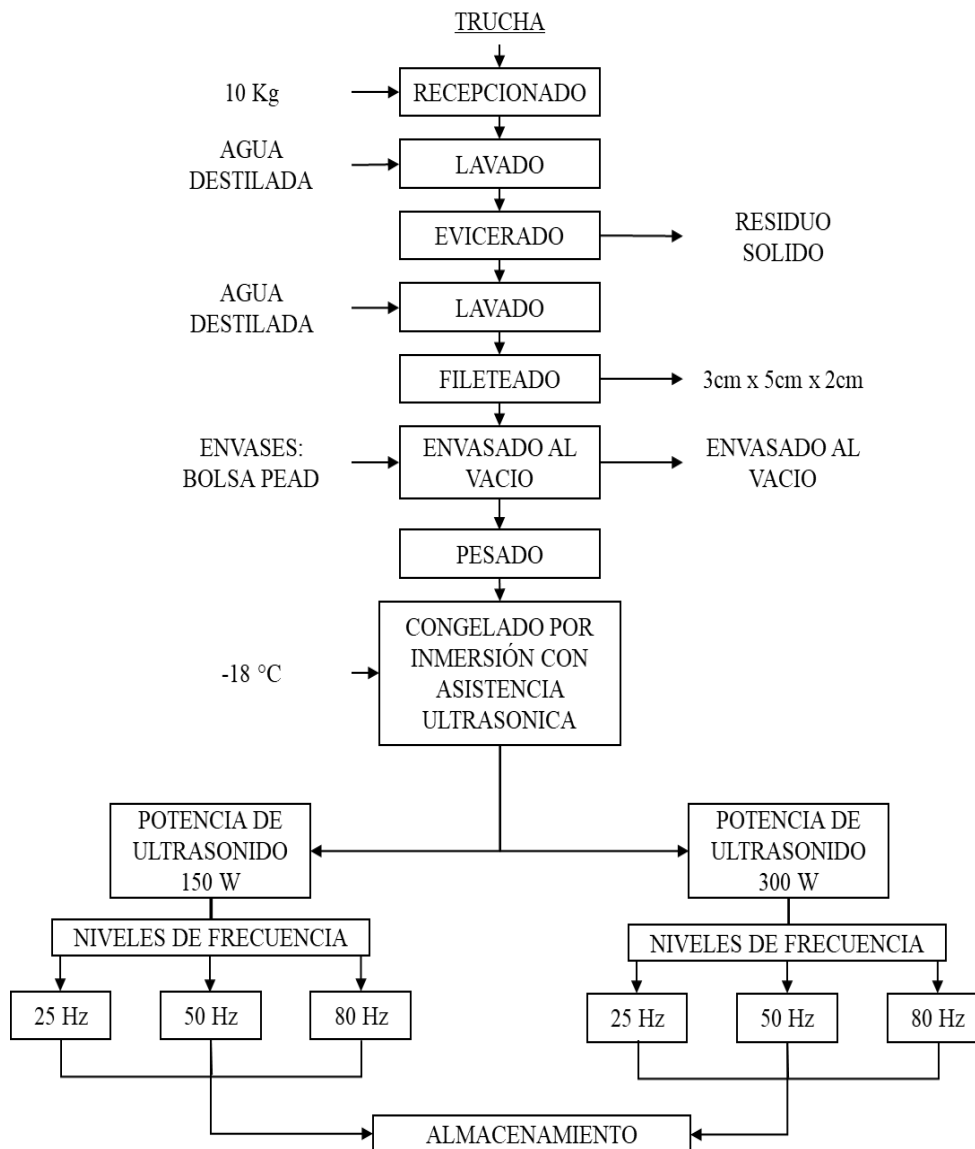
- Statgraphics Centurión XVI, versión de prueba.

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La Figura 7 muestra el diagrama de flujo de operaciones desarrollado en la presente investigación.

Figura 7

Diagrama de flujo de proceso de congelación por inmersión asistida por ultrasonido



Nota: (Sun, Zhao, et al., 2019)



3.3.1. Descripción del diagrama de flujo

- **Recepcionado**

Las truchas fueron adquiridas del criadero Piscis S.A.C. y transportadas de inmediato a las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Estas truchas presentaban una longitud promedio de 25 cm, con un cuerpo de color plateado y una distintiva franja rosada a lo largo de los costados.

- **Lavado**

Las truchas se lavaron con abundante agua destilada (Alkofarma, Perú) para eliminar las sustancias contaminantes adheridas a la piel.

- **Eviscerado**

El proceso de eviscerado se inició con un corte ventral utilizando un cuchillo, abriendo el abdomen de las truchas para quitar y eliminar las vísceras desde la tráquea hasta la parte posterior.

- **Lavado**

Las truchas evisceradas fueron lavadas por segunda vez con la finalidad de eliminar restos de vísceras y sangre adherida a los músculos y la espina dorsal.

- **Fileteado**

Las truchas lavadas fueron fileteadas siguiendo un procedimiento estándar, utilizando cuchillos de precisión marca Tramontina de 10 cm. Cada trucha fue fileteada en piezas de tamaño uniforme con dimensiones de 5 cm de largo, 3 cm de ancho y 2 cm de espesor.



- **Envasado al vacío**

Una vez obtenidos los filetes, fueron inmediatamente envasados al vacío en poliamida orientada biaxialmente (BOPA) con ayuda de una envasadora y selladora al vacío.

- **Pesado**

Se realizó el pesado con una balanza analítica de tres decimales SARTORIUS, midiendo con precisión cada filete de trucha Arcoiris para asegurar la consistencia en los experimentos. Los filetes fueron pesados individualmente antes de ser sometidos al proceso de congelación por inmersión asistida por ultrasonido. Se establecieron rangos de peso específicos para cada muestra, asegurando que cada tratamiento tuviera una cantidad homogénea de materia prima. Esto permitió obtener resultados comparables y reducir la variabilidad en los análisis posteriores. Los detalles del peso de cada tratamiento y su distribución se encuentran documentados en los registros del experimento.

- **Congelación por inmersión con asistencia ultrasónica**

El producto fue congelado hasta alcanzar una temperatura mínima en el centro térmico de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ se usó como liquido de inmersión etanol al $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, asistido por ultrasonido a dos niveles de potencia (150W y 300W) y a tres niveles de frecuencia (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz).

- **Almacenado**

Las muestras fueron almacenadas en una refrigeradora a una temperatura adecuada de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para realizar los respectivos análisis de microestructura y otros análisis mencionados anteriormente.



3.4. FACTORES DE ESTUDIO

Las variables independientes o estudio de la investigación son las siguientes:

Factor A: Potencia (150 W y 300 W)

Factor B: Frecuencia (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz)

3.4.1. Variables de respuesta

Las variables dependientes se detallan en función a cada objetivo experimentado

Para el primer objetivo: Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades fisicoquímicas de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.

Propiedades fisicoquímicas:

- Tiempo de congelación
- pH
- Color
- Textura
- Pérdida de peso
- Oxidación de lípidos

Para el segundo objetivo: Evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades sensoriales de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.

Análisis sensorial:

- Color



- Olor
- Sabor
- Textura

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Para la evaluación de la propiedades físico químicas y sensoriales congeladas por inmersión asistido con ultrasonido con diferentes niveles de potencia (150 W y 300 W) y frecuencia (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz) en función a los parámetros estudiados (Tiempo de congelación, pH, color, textura, tiempo de congelación pérdida de peso, microestructura, oxidación de lípidos y análisis sensorial).

3.5.1. Tiempo de congelación

Maquera, (2009), menciona que la metodología basada en la ecuación de Plank es ampliamente empleada para estimar el tiempo necesario para congelar alimentos bajo condiciones específicas. Esta técnica considera tanto las propiedades térmicas del alimento como las características del medio refrigerante según se siguen los pasos siguientes:

Se aplica la ecuación general de Plank, adaptada al caso de alimentos congelados por Ede (1949), expresada como:

$$t_f = \frac{\rho H_L}{\Delta t'} \left(\frac{P\alpha}{h_c} + \frac{R\alpha^2}{k_c} \right)$$

Donde:

H_L = Calor latente de fusión del material (J/kg).

$\Delta t'$ = Diferencia entre las temperaturas de congelación del alimento (T_c) y el medio refrigerante (T_{medio}).



α = Espesor característico del alimento a congelar (m).

h_c = Coeficiente de transferencia de calor convectivo (W/m^2K).

k_c = Conductividad térmica del alimento congelado (W/mK).

ρ = Densidad del alimento (kg/m^3).

Coeficientes PPP y RRR, según la geometría del alimento:

- Para placas infinitas: $P=1/2$ $R=1/8$.
- Para una esfera: $P=1/6$ $R=1/24$.
- Para un cilindro infinito: $P=1/4$ $R=1/16$.

3.5.2. Determinación de pH

El procedimiento para la determinación de el pH de los filetes de trucha Arcoiris congelados por inmersión, sometidos a diferentes niveles de potencia y frecuencia, se determinó utilizando un pH-metro de la marca Milwaukee, siguiendo la metodología establecida por AOAC 981.12-2019 AOAC., (2019) . Para esta prueba, se prepararon 18 muestras de filetes de trucha, pesando 10 g cada una. Las muestras se trituraron utilizando una licuadora Oster. Posteriormente, se añadieron 80 ml de agua destilada a cada muestra triturada y se agitaron durante 10 min con una bagueta. La mezcla obtenida se vertió en un vaso precipitado, enjuagando este con 20 ml adicionales de agua destilada para garantizar la homogenización en una fiola de 100 ml.

Cada muestra fue filtrada en un vaso precipitado de 100 ml. Finalmente, se midió el pH de cada muestra utilizando un pH-metro Milwaukee, como se



detalla en el anexo 15 del panel fotográfico (15B.2 determinación de pH) asegurándose de que la lectura se estabilizara antes de registrarla.

3.5.3. Determinación de color

Kong & Singh, (2011) llevaron a cabo un estudio en el que analizaron el color de filetes de trucha arcoíris congelados por inmersión, sometidos a distintas potencias y frecuencias. Para ello, emplearon un colorímetro SC20 de HunterLab, siguiendo el método Hunter dentro del sistema CIELAB, conforme a las directrices establecidas por Hunter (1958). Se prepararon 18 muestras de filetes de trucha, y cada una fue evaluada en tres puntos diferentes para garantizar la precisión y la consistencia de las mediciones.

Los parámetros de color se registraron como coordenadas L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul). Antes de cada sesión de medición, se calibró el colorímetro con una placa blanca estándar. Los filetes de trucha se colocaron sobre una superficie plana y uniforme, y se tomaron las lecturas en los puntos seleccionados. Las mediciones se realizaron en condiciones de luz controladas para minimizar las variaciones externas. observar en el ANEXO 15 -20B (15B.3 medición de color con colorímetro).

Los valores de L^* , a^* y b^* se utilizaron para evaluar las diferencias de color entre las muestras tratadas con distintos niveles de ultrasonido. Las lecturas se promediaron y se analizaron estadísticamente para determinar el impacto de los tratamientos de ultrasonido en las propiedades cromáticas de los filetes de trucha. Este procedimiento se llevó a cabo conforme a las indicaciones y metodología descritas por el autor del estudio. Los detalles específicos de las mediciones de color se pueden observar en la Figura 10, 11 y 12.



3.5.4. Determinación de textura

Maquera, (2009), realizó la medición de textura de los filetes de trucha Arcoiris congelados por inmersión, sometidos a diferentes niveles de potencia y frecuencia, se determinó utilizando un texturómetro Brookfield CT3 equipado con el accesorio de Warner-Bratzler. Para esta prueba, se prepararon 18 muestras de filetes de trucha. Cada muestra se analizó para evaluar la firmeza y cohesividad.

El texturómetro se calibró antes de cada sesión de medición. Los filetes de trucha se colocaron en la plataforma del texturómetro y se realizaron mediciones en tres puntos distintos de cada muestra para asegurar la precisión y consistencia de los resultados, tal como se muestra en el anexo 14 (20b.1 Análisis de filetes de trucha en el texturómetro Brookfield) Las pruebas se llevaron a cabo en condiciones controladas para minimizar las variaciones externas.

Los valores obtenidos de firmeza y cohesividad se promediaron y se analizaron estadísticamente para determinar el impacto de los tratamientos de ultrasonido en las propiedades texturales de los filetes de trucha. Este procedimiento se llevó a cabo conforme a las indicaciones y metodología descritas por el autor del estudio. Los detalles específicos de las mediciones de textura se pueden observar en la Figura 14.

3.5.5. Determinación de pérdida de peso por descongelación

Se llevó a cabo un análisis de la pérdida de peso en filetes de trucha Arcoiris, congelados por inmersión a distintos niveles de potencia (150W y 300 W) y frecuencia (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz), empleando una balanza electrónica digital. Este registro permitió medir la diferencia de peso en los filetes antes y después del proceso de descongelación.



Sun, Zhao, et al., (2019) llevaron a cabo un registro detallado de los pesos iniciales de los filetes utilizando una balanza electrónica digital de alta precisión antes de someterlos al proceso de congelación por inmersión. Tras completar la etapa de descongelación, los filetes fueron pesados nuevamente, permitiendo así calcular la pérdida de peso ocurrida durante el proceso.

El análisis de la pérdida de peso ofreció información valiosa sobre cómo las distintas configuraciones de potencia y frecuencia en el proceso de congelación por inmersión influyeron en la cantidad de líquido liberado durante la descongelación de los filetes de trucha Arcoiris. La comparación entre los pesos inicial y final permitió evaluar la eficacia de la descongelación y entender cómo estas variaciones podrían impactar la calidad final del producto.

$$\Delta P = P_i - P_f \quad (6)$$

Donde:

- ΔP : Es la pérdida de peso por descongelación.
- P_i : Es el peso inicial del producto congelado.
- P_f : Es el peso final del producto descongelado.

El uso de la balanza electrónica digital para cuantificar la pérdida de peso durante la descongelación resultó fundamental para comprender los cambios físicos en los filetes de trucha Arcoiris, brindando una visión detallada de cómo las condiciones de congelación pueden afectar las propiedades del producto final tal como se muestra en el anexo15 (15B.4)

3.5.6. Determinación de oxidación de lípidos

El análisis se llevó a cabo en muestras de filetes obtenidas mediante congelamiento por inmersión ultrasónica, seleccionadas por su similitud en características fisicoquímicas relevantes (Zhang et al., 2017). Se aplicó el método AOAC 2019 para determinar el índice de peróxido en los filetes de trucha Arcoiris congelados por inmersión a diferentes niveles de potencia (150 W y 300 W) y frecuencia (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz). Esta metodología era conocida por su efectividad en la evaluación de la oxidación de lípidos en productos alimenticios.

La descongelación de las muestras se realizó de manera gradual, a temperatura controlada, seguida de un secado en una estufa a 50 °C durante un período de 12 a 24 Hr, con el propósito de minimizar la oxidación lipídica. Posteriormente, las muestras secas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se procesaron en una licuadora doméstica equipada con un vaso molinillo, hasta obtener partículas finamente trituradas. El concentrado seco de trucha se almacenó en envases herméticos a temperaturas inferiores a 25 °C, protegido de la luz directa, para preservar sus propiedades.

Finalmente, se llevaron a cabo análisis del contenido de humedad y pruebas de oxidación para garantizar la calidad del producto. Este procedimiento permitió obtener un concentrado seco de trucha con bajo contenido de humedad y buena estabilidad, preservando tanto la calidad como las propiedades nutricionales del producto. Además, se determinó la oxidación mediante el método de índice de peróxido (mEq/kg), como se describe en el estudio ANEXO 13 (certificado de análisis).

$$IP(mEq/Kg) = \frac{(V_{Na_2S_2O_3} - V_{BLANCO}) \times N_{Na_2S_2O_3} \times 1000}{\text{Peso de la muestra en (g)}} \quad (7)$$



- $V_{Na_2S_2O_3}$ = Volumen de tiosulfato de sodio usado en la titulación de la muestra (en ml).
- V_{BLANCO} = Volumen de tiosulfato de sodio usado en la titulación del blanco (en ml).
- $N_{Na_2S_2O_3}$ = Normalidad del tiosulfato de sodio.
- Peso de la muestra = Peso de la muestra en gramos.

El propósito del estudio fue medir la presencia de peróxidos en las muestras como indicador de la oxidación de los lípidos, proporcionando información sobre la frescura y calidad de los filetes congelados. Además, se buscó comprender cómo las variaciones en la potencia y frecuencia durante el proceso de congelación por inmersión podrían influir en la estabilidad lipídica de los filetes de trucha arcoíris.

El uso del método AOAC 2019 garantizó resultados precisos al evaluar la oxidación de los lípidos mediante el índice de peróxido. Esto permitió identificar posibles cambios en la calidad de los filetes congelados y su impacto en las propiedades sensoriales finales, evidenciando la eficacia de las técnicas utilizadas para preservar dichas características.

3.5.7. Determinación de análisis sensorial

Según Zhang et al., (2019), el análisis sensorial de filetes de trucha arcoíris congelados por inmersión ultrasónica se realizó con el objetivo de evaluar las propiedades sensoriales bajo diferentes niveles de potencia (150 W y 300 W) y frecuencia (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz). Para ello, se empleó un diseño experimental factorial completamente al azar (2x3) con tres repeticiones por tratamiento. Los filetes se descongelaron en condiciones controladas (4 °C durante



12 horas) y se prepararon en porciones uniformes de aproximadamente 10 x 5 cm. Posteriormente, se cocinaron en una sartén antiadherente, sin aditivos ni condimentos, durante tres min por lado. Las muestras se presentaron codificadas con números aleatorios para evitar sesgos en la evaluación. Doce panelistas entrenados participaron en el análisis sensorial, calificando los atributos de olor, color, sabor y textura mediante una escala hedónica de cinco puntos (1 = muy malo, 5 = excelente). Durante el análisis, se consideraron aspectos como la frescura y ausencia de olores indeseados para el atributo de olor, la apariencia general y tonalidad para el color, la intensidad y calidad gustativa para el sabor, y la firmeza y suavidad para la textura. Entre cada muestra, los panelistas limpiaron el paladar con agua y galletas sin sal para garantizar la precisión en las evaluaciones. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el ANVA, permitiendo identificar diferencias significativas entre tratamientos y determinar el impacto de los parámetros de potencia y frecuencia en la calidad sensorial de los filetes de trucha arcoíris tal como se ve en el diseño experimental de la tabla 6.

Este análisis sensorial ofreció una comprensión detallada de cómo los cambios en los niveles de potencia y frecuencia afectan la calidad sensorial de los filetes de trucha arcoíris. Las puntuaciones otorgadas por los evaluadores permitieron determinar la aceptación y preferencia de los productos en función de estos atributos clave.

La evaluación realizada proporcionó información valiosa sobre la percepción de los evaluadores respecto a la calidad sensorial de los filetes congelados, destacando cómo las variaciones en las condiciones de congelación podrían influir en la experiencia del consumidor.



3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.6.1. Diseño estadístico para evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades fisicoquímicas de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.

El diseño estadístico para evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y frecuencia en las propiedades fisicoquímicas en los filetes de trucha Arcoiris congelada por inmersión ultrasónica en función a los parámetros: Tiempo de congelación, pH, color, textura, tiempo de congelación, pérdida de peso, oxidación de lípidos.

Modelo de un diseño completamente al azar con arreglo factorial de (2x3) con 3 repeticiones.

Tabla 5

Diseño experimental.

VARIABLES DE ESTUDIO				VARIABLES DE RESPUESTA					
TRATAMIENTOS	POTENCIA	FRECUENCIA ULTRASÓNICA	REPETICIONES	tiempo de congelación	pH	color	textura	pérdida de peso	oxidación de lípidos
T1	150 W	25 kHz	R1 R2 R3						
T2	150 W	50 kHz	R1 R2 R3						
T3	150 W	80 kHz	R1 R2 R3						
T4	300 W	25 kHz	R1 R2 R3						
T5	300 W	50 kHz	R1 R2 R3						
T6	300 W	80 kHz	R1 R2 R3						

3.6.2. Diseño experimental para el análisis sensorial de filetes de trucha

Arcoiris a diferentes niveles de potencia y frecuencia.

3.6.2.1. Diseño estadístico para evaluar el efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades sensoriales de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.

Para el análisis sensorial de los filetes de trucha Arcoiris se empleó el diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) a un nivel de 95.0 % de confianza y una significancia $p \leq 0.05$, con 12 panelistas semi entrenados, quienes evaluaron el Sabor, color, olor y textura en la escala de 5 puntos.



El análisis sensorial de los filetes de trucha Arcoiris fue realizado utilizando la escala hedónica de excelente, muy bueno, bueno, regular y desagradable; con una calificación numérica de 1 al 5 y con 12 panelistas semi entrenadas de ambos sexos, con una edad de 22 a 25 años, estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, que recibieron capacitación, de acuerdo con la norma.

Tabla 6

Escala de calificación para el análisis sensorial.

Calificación hedónica	Calificación numérica
Excelente	5
Muy bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Desagradable	1

Nota: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, (2008).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

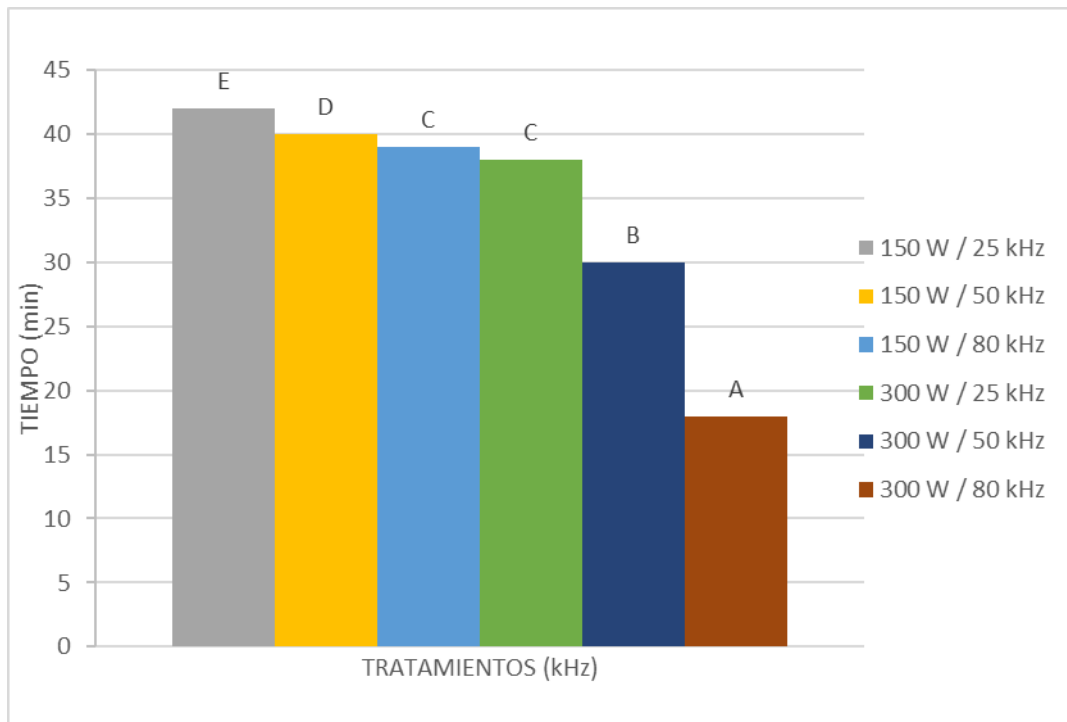
4.1. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA POTENCIA DE ULTRASONIDO Y LA FRECUENCIA

4.1.1. Tiempo

La Figura 8 ilustra los tiempos de congelación, en min, para distintos tratamientos específicos con ultrasonido a diferentes niveles de potencia (150 W y 300 W) y frecuencias (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz). El propósito de esta comparación es evidenciar cómo la aplicación de ultrasonido puede influir en la reducción del tiempo de congelación.

Figura 8

Tiempos de Congelación en Diferentes Tratamientos





En esta figura se compara los tiempos de congelación según diferentes combinaciones de potencia y frecuencia. En general, aumentar la potencia reduce los tiempos de congelación, mientras que la frecuencia tiene un efecto variable dependiendo del tratamiento.

El (ANVA) realizado para el tiempo de congelación (anexo 1A) de los filetes de trucha muestra que tanto la potencia como la frecuencia tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el tiempo de congelación. Además, la interacción entre la potencia y la frecuencia también resulta significativa, lo que indica que la combinación de estos factores influye en el proceso de congelación de manera importante. Los resultados de las pruebas de Duncan confirman que existen diferencias significativas entre los niveles de potencia y frecuencia, lo que sugiere que cada uno de estos factores afecta el tiempo de congelación de forma distinta. En términos de la práctica industrial, según Zhao, et al.(2019), el tiempo estándar de congelación para los filetes de trucha es de aproximadamente 60 minutos a temperaturas cercanas a -18°C . Este dato es consistente con los resultados del análisis, indicando que el proceso de congelación puede optimizarse considerando tanto la potencia como la frecuencia para obtener los mejores resultados en términos de tiempo y calidad del producto.

La combinación de 300 W y 80 kHz mostró el tiempo más bajo (18 min), mientras que 150 W y 25 kHz presentó el mayor tiempo de congelación (42 min). Esta tendencia visual se alinea con los datos estadísticos, confirmando que las condiciones de alta potencia y frecuencia optimizan el proceso.

Por otra parte, la prueba de Duncan (Anexo 1, secciones 1.B y 1.C) confirmó estas observaciones. En el caso de la potencia, 300 W fue



significativamente más eficiente que 150 W (tiempos promedio de 28.67 y 40.33 min, respectivamente). En cuanto a la frecuencia, 80 kHz mostró el mejor desempeño (28.5 min), seguido por 50 kHz (35 min) y 25 kHz (40 min). Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Mukhtar y Weng et al., (2022) quienes destacaron la importancia de frecuencias más altas y potencias mayores para optimizar procesos térmicos.

Finalmente, la interacción potencia-frecuencia (Anexo 1, sección 1.D) confirmó que las combinaciones de alta potencia y alta frecuencia reducen significativamente los tiempos de congelación. Este comportamiento se debe a la mejora en la transferencia térmica y a la penetración más eficiente de la energía térmica en el sistema. Esto refuerza la idea de que ambos factores deben ser optimizados de manera conjunta para maximizar la eficiencia del proceso (Akdeniz & Puntaca, 2019).

La eficacia del uso de ultrasonido para reducir el tiempo de congelación ha sido corroborada en múltiples estudios. Sun, Zhang (2019), señalaron que la cavitación acústica generada por el ultrasonido crea microcorrientes y turbulencias que mejoran significativamente la transferencia de calor. Esta mejora puede reducir el tiempo de congelación y permitir una formación más uniforme de cristales de hielo. No obstante, Zhao et al., (2017) advierten que la efectividad de este método depende de las condiciones precisas del proceso. Potencias y frecuencias excesivamente altas pueden generar calentamiento localizado, lo que podría contrarrestar la eficacia del enfriamiento y, en ciertos casos, provocar daños a la estructura interna del material, especialmente si se trata de productos biológicos.

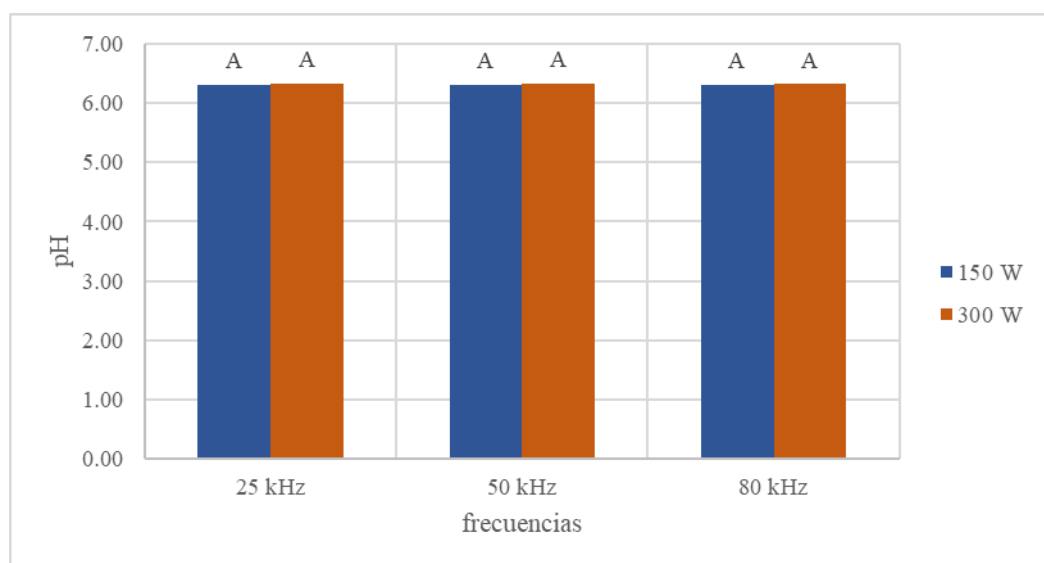
Por otro lado, Bian et al., (2022) destaca que el uso de ultrasonido, si bien es una herramienta optima para reducir el tiempo de congelación, puede tener efectos secundarios no deseados. El uso inadecuado de altas frecuencias, por ejemplo, puede afectar la estructura celular de ciertos materiales o alimentos, comprometiendo su calidad. Esto contrasta con la eficacia demostrada por el tratamiento con 300 W a 80 KHz, que es el más eficiente según la Figura 8. Aunque los resultados son prometedores, la literatura enfatiza la necesidad de calibrar cuidadosamente los parámetros de potencia y frecuencia para evitar efectos adversos.

4.1.2. pH

A continuación se muestra la Figura 9, en donde se observa los resultados indicando la determinación de pH para dos potencias de ultrasonido (150 W y 300 W) en diferentes frecuencias (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz).

Figura 9

pH de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias





En la figura anterior se muestra que el pH se mantiene constante en todas las frecuencias y niveles de potencia, sin diferencias significativas entre las condiciones evaluadas.

En el ANVA que se realizó, se observa que tanto la potencia como la frecuencia de congelación no tienen un efecto significativo sobre el pH de los filetes de trucha, lo que sugiere que estas variables no influyen de manera relevante en el pH durante el proceso de congelación.

Pérez-Campos et al.(2016), en su estudio sobre el efecto de diferentes métodos de congelación en la calidad del pescado, especialmente en el pH de los filetes de trucha, concluye que el pH de los productos pesqueros se mantiene relativamente estable a lo largo del proceso de congelación, independientemente de las variaciones en los parámetros del proceso, como la potencia o la frecuencia.

Además, estudios como el de Maquera, (2009), sobre la congelación de productos de trucha en la región andina, también indican que el pH de los filetes de trucha se mantiene en un rango relativamente constante durante el proceso de congelación a temperaturas de -18°C , lo que sugiere que el pH no es tan susceptible a las variaciones en las condiciones de congelación.

El hecho de que el pH no varíe de manera significativa podría atribuirse a la estabilidad química del tejido de la trucha arcoíris frente a los parámetros evaluados. Investigaciones previas, como las realizadas por López y Hernández (2020), han señalado que, a diferencia de otros indicadores de calidad, el pH en productos acuícolas suele ser resistente a fluctuaciones menores en condiciones de procesamiento térmico o ultrasónico.

Por lo tanto, estudios tales como Pérez-Campos et al., (2016) como de Maquera, (2009), destacan que el pH de los filetes de trucha se mantiene estable, independientemente de las variaciones en potencia y frecuencia durante la congelación.

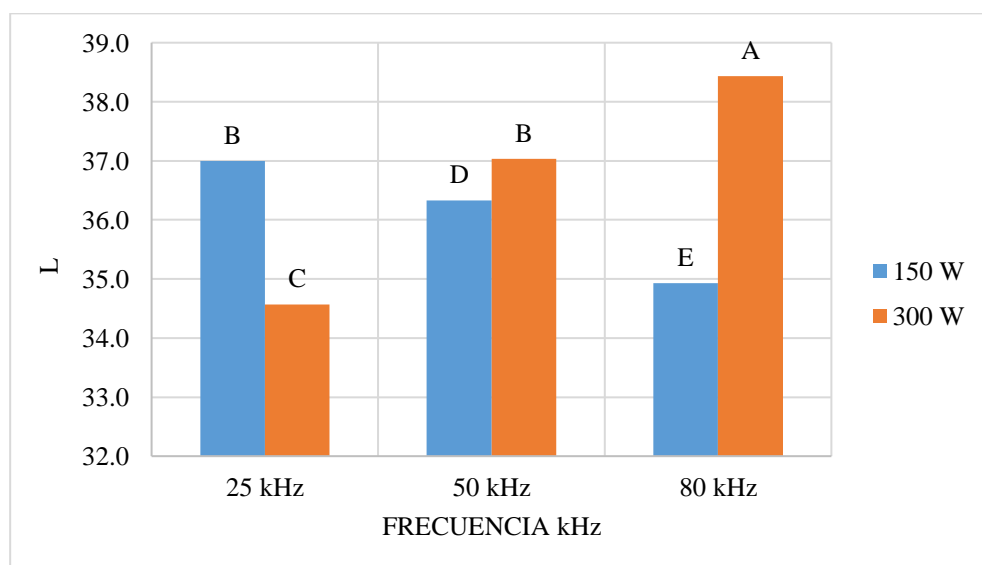
El valor de pH puede influir en la calidad de la carne, teniendo un gran impacto sobre la disminución de su capacidad de retención de agua (WHC) Cerros, (2005). Así mismo Zhang et al., (2018) señala que las condiciones de procesamiento, como la congelación y descongelación, afectan significativamente el pH y la capacidad de retención de agua de la carne de tilapia.

4.1.3. Color

El efecto de la potencia de ultrasonido a diferentes frecuencias en el color de los filetes de trucha Arcoiris se muestra en la Figura 10, 11 y 12, en donde se interpretan los datos obtenidos mediante el sistema de color CIELAB.

Figura 10

Luminosidad de filetes de trucha arcoiris en diferentes potencias.





Los resultados obtenidos en la figura anterior muestra la representación del componente L^* de diferentes potencias (150 W y 300 W) y frecuencias (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz), se observa que la luminosidad de los filetes de trucha arcoíris a una potencia de 300 W son más altos.

La grafica proporciona una representación gráfica de estos resultados, mostrando la interacción significativa entre potencia y frecuencia a 25 kHz, los tratamientos con 150 W muestran una mayor luminosidad que con 300 W, mientras que a 80 kHz, esta diferencia se invierte, con 300 W mostrando valores ligeramente más altos que 150 W. Esto refuerza la idea de que el efecto de la potencia en la luminosidad depende de la frecuencia utilizada, lo que concuerda con estudios previos como los de López y Hernández (2021), quienes encontraron que la interacción de parámetros de ultrasonido afecta de manera específica los atributos de color en productos cárnicos y acuícolas.

Los resultados de ANVA para el componente L^* de los filetes de trucha indican que la potencia y la frecuencia no tienen un efecto significativo por separado sobre la luminosidad del color, ya que los valores-p para ambos factores son superiores a 0.05 (0.3453 y 0.4735, respectivamente). Sin embargo, la interacción entre potencia y frecuencia resulta significativa (valor-p = 0.0221), lo que sugiere que la combinación específica de estos dos factores sí tiene un impacto sobre el componente L^* , afectando la luminosidad de los filetes de manera distinta dependiendo de cómo se combinan. Estos resultados son consistentes con lo que se observa en varios estudios previos, como el de Kentish & Ashokkumar, (2011), que encontraron que el componente L^* de los filetes de pescado puede ser influenciado por las condiciones de congelación, pero que la interacción entre factores (como la potencia y la temperatura de congelación) tiene un impacto más

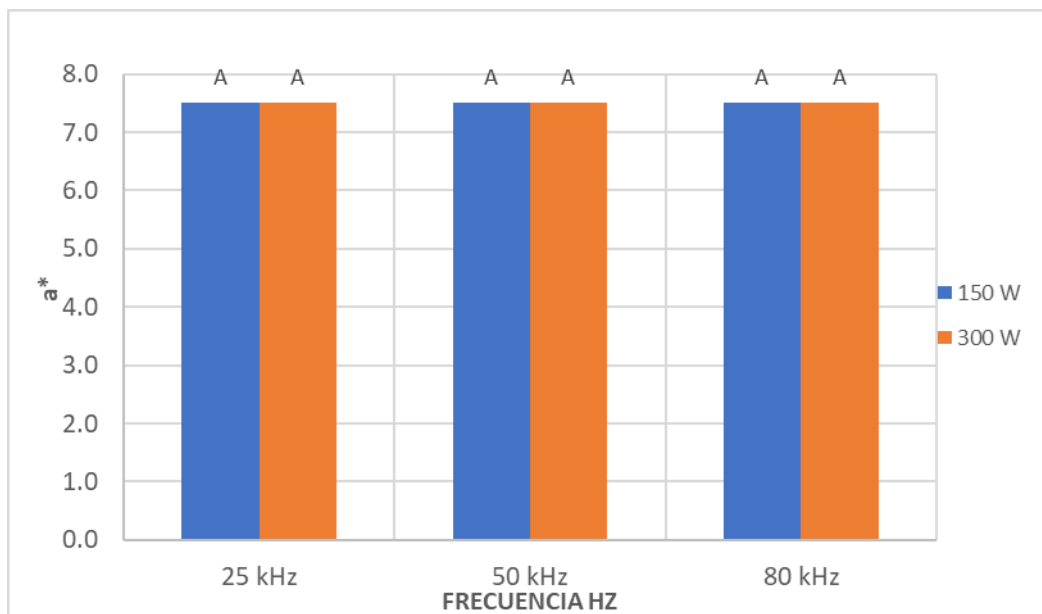


relevante que los efectos individuales. De manera similar Adhikari et al.,(2020), destacaron que el color L^* de los productos pesqueros también puede verse afectado por la combinación de condiciones de congelación, y que las interacciones entre estos factores juegan un papel más importante que los efectos por separado. En conjunto, estos estudios respaldan los hallazgos del anexo 3A, sugiriendo que la combinación de potencia y frecuencia durante el proceso de congelación influye significativamente en la luminosidad del color L^* de los filetes de trucha, mientras que los efectos individuales de cada factor son menos relevantes.

Zhang et al., (2019) sugieren que el ultrasonido aumenta la luminosidad (L^*) desplazando agua fuera de las células, la figura muestra que este efecto depende de la potencia y frecuencia específicas. En potencias más bajas, la frecuencia puede reducir la luminosidad, mientras que en potencias más altas, puede aumentarla. Esto indica que los efectos del ultrasonido en la luminosidad son más complejos y deben evaluarse considerando todos los parámetros operativos y las características específicas del tipo de carne.

Figura 11

Color verde-rojo de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias



En Figura mostrada la representación gráfica de la verde rojo (a^*) de diferentes potencias (150 W y 300 W) y frecuencias (25 KHz, 50 KHz y 80 KHz), se observa que la muestra cómo el componente (a^*) de los filetes de trucha arcoíris no varía con la potencia del ultrasonido en los tres niveles de frecuencia.

Los resultados del ANVA (anexo 4^a) para el componente a^* de los filetes de trucha indican que la potencia, la frecuencia y su interacción no tienen un efecto significativo sobre el valor de a^* , ya que los valores-p son superiores a 0.05: 0.6147 para la potencia, 0.5416 para la frecuencia, y 0.9066 para la interacción entre ambos factores. Esto implica que las variaciones en la potencia y la frecuencia de congelación, así como la combinación de ambos factores, no afectan significativamente el color a^* de los filetes de trucha.

Este hallazgo es coherente con lo que han reportado otros autores en estudios similares así como Maquera, (2009), en su investigación sobre la



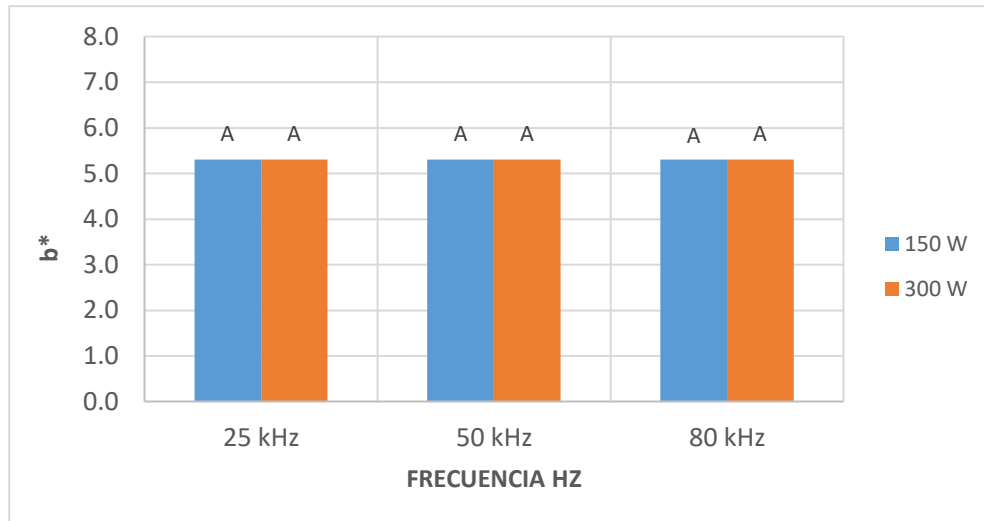
congelación de productos pesqueros, observaron que el color a^* (típicamente asociado con la variación de tonos rojos y verdes) no se ve significativamente alterado por las condiciones de congelación, como la potencia o la frecuencia. Según su estudio, el tipo de congelación y la temperatura de almacenamiento tienen una mayor influencia en el color de los filetes de pescado.

De manera similar, Sun, Chen, et al., (2019), que analizó el efecto de la congelación en trucha, también concluyó que las variaciones en los parámetros de congelación, tales como la potencia y la frecuencia, no afectan de manera notable el componente a^* de los filetes. Este resultado sugiere que el color en términos de tonalidad rojo-verde es menos sensible a los cambios en las condiciones de congelación, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en este estudio, al respecto de Sun, Zhao, et al., (2019) que sugieren que los tratamientos de congelación no afectan significativamente sobre el componente a^* . Sin embargo, mencionan que los efectos del ultrasonido en el color pueden variar considerablemente según el tipo de carne y las condiciones específicas del tratamiento. Por lo tanto, es esencial considerar estas variables al evaluar la aplicabilidad de los resultados de un estudio a diferentes contextos.

Así mismo Ozuna & Martinez, (2012), reportan que la estabilidad del color a^* puede deberse a la composición química de los filetes de trucha arcoíris, que no parece verse afectada por las condiciones de potencia y frecuencia evaluadas. Además concluyeron que el color a^* en productos cárnicos y acuícolas es menos sensible a tratamientos con ultrasonido, comparado con otras propiedades como la textura o la luminosidad.

Figura 12

Color azul-amarillo de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias y frecuencias



La Figura del anterior se muestra barras que representa el componente b^* del color en función de la frecuencia (25, 50 y 80 kHz) y la potencia (150 W y 300 W). Los resultados indican que no hay diferencias significativas en los valores de b^* , ya que todas las barras están etiquetadas con "A", sugiriendo que el componente b^* (azul-amarillo) permanece constante en estas condiciones.

El ANVA (anexo 5A) realizado para el color b^* de los filetes de trucha muestra que la potencia, la frecuencia, y la interacción entre estos dos factores no tienen un efecto significativo sobre el valor de b^* , ya que los valores-p obtenidos son mayores que 0.05: 0.3369 para la potencia, 0.7496 para la frecuencia, y 0.7859 para la interacción. Esto indica que la potencia, la frecuencia de congelación, y su interacción, no tienen un efecto significativo sobre los resultados afectan de manera significativa el componente b^* , que refleja la variación entre el color amarillo y el azul en el modelo de color CIE Lab. En otras palabras, las



condiciones de congelación en este estudio no alteran significativamente este aspecto del color de los filetes de trucha,

Este resultado es coherente con lo que se ha observado en otros estudios similares. Sun, Zhao, et al.(2019), señalaron que el color b^* de los filetes de pescado generalmente muestra poca variabilidad cuando se modifican condiciones como la potencia o la frecuencia de congelación, Tiwari, (2015), menciona que las condiciones de congelación afectan al color en general, los cambios en el color b^* son mínimos en respuesta a la variación de parámetros como la potencia o la frecuencia, sugiriendo que este componente del color es más estable durante el proceso de congelación.

Este comportamiento puede deberse a la composición química inherente al tejido de los filetes de trucha arcoíris, lo que los hace menos susceptibles a cambios en esta dimensión de color, como también se ha observado en estudios de Nishad et al., (2021), sobre productos acuícolas, es ventajoso para aplicaciones industriales, ya que sugiere que las características de color relacionadas con la escala azul-amarillo no se ven alteradas significativamente por el ultrasonido. Sin embargo, se recomienda explorar rangos más amplios de potencia y frecuencia, o combinar estos tratamientos con otros factores ambientales, para identificar posibles efectos en condiciones extremas.

El color es un indicador importante para evaluar la calidad visual de los alimentos, ya que afecta la apariencia, presentación y aceptabilidad Choi et al., (2015). La mayor intensidad de potencia ultrasónica provoca un aumento considerable en el valor de L^* de las muestras de carpa común y mientras haya

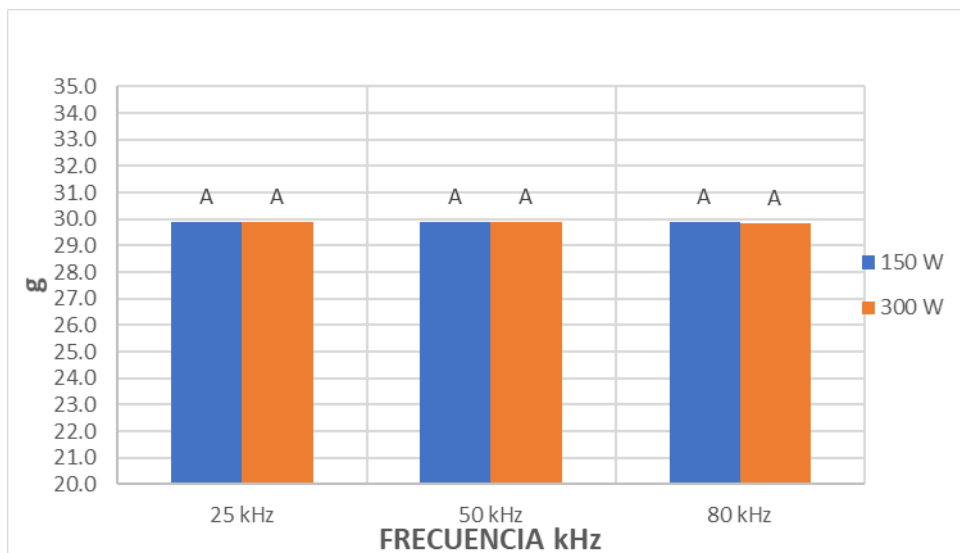
mayor agua libre en la superficie de la carne se obtendrá como resultado un color más claro en las carnes (Leong et al., 2017).

4.1.4. Pérdida de peso

La pérdida de peso en filetes de trucha, como se muestra en el Anexo 7, se analizó mediante el ANVA, el cual indica que la potencia y la frecuencia, no presentan significancia, así mismo la interacción, tienen un efecto estadísticamente no significativo sobre la pérdida de peso de los filetes de trucha (todos los valores p son mayores a 0.05). Esto sugiere que las variaciones en la pérdida de peso no están asociadas de manera significativa con estos factores dentro del rango de datos analizado.

Figura 13

Pérdida de peso por congelación de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias.



En dicha Figura se muestra la representación, en la cual la comparación de los valores del parámetro ϵ en tres frecuencias específicas: 25 kHz, 50 kHz y 80 kHz, bajo dos condiciones de potencia: 150 W y 300 W. Se observa que



los valores del parámetro son muy similares entre ambas potencias en todas las frecuencias evaluadas, como lo indican las letras "A", que sugieren que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Esto indica que ni la frecuencia ni la potencia influyen de manera notable en el comportamiento del parámetro evaluado en este rango.

El ANVA (anexo 6A) muestra que estas diferencias no son estadísticamente significativas. Esto puede implicar que los tratamientos realizados no influyen en la pérdida de peso, o que las diferencias observadas no son lo suficientemente grandes como para ser detectadas con el tamaño de muestra utilizado. Estos resultados son similares a los reportados por Zhao, et al.(2019), quienes mencionan que puede tener un efecto más significativo durante la etapa de transición de fase, donde la mayoría de los cristales de hielo se forman. Al acelerar este proceso crucial, UIF puede reducir aún más el tiempo total de congelación en comparación con IF.

Los valores-p obtenidos son mayores que 0.05: 0.6784 para la potencia, 0.8226 para la frecuencia, y 0.3525 para la interacción. Estos resultados sugieren que la potencia, frecuencia de congelación, además de su interacción, no afectan de manera significativa la pérdida de peso de los filetes de trucha durante el proceso de congelación o descongelación. En otras palabras, las condiciones de congelación no influyen de manera notable en la cantidad de peso perdido por los filetes durante el proceso.

Según Ozuna & Martinez (2012), la pérdida de peso en productos congelados tiende a estar más relacionada con factores como el tiempo de congelación o el método de congelación que con parámetros como la potencia o



la frecuencia. En un estudio similar, Sun, Zhao, et al.(2019), encontraron que las variaciones en el tipo de congelación pueden generar diferencias en la pérdida de peso, pero las condiciones como la potencia y la frecuencia de congelación no muestran efectos significativos.

La falta de significancia estadística podría explicarse por la estabilidad del contenido de agua en los filetes de trucha arcoíris frente a los parámetros evaluados. Sin embargo, las variaciones observadas, especialmente a 50 kHz, sugieren que ciertas combinaciones específicas de potencia y frecuencia pueden influir en el grado de pérdida de peso, aunque no de manera suficientemente consistente como para ser significativas en este análisis. Esto concuerda parcialmente con estudios previos, como los de Chuhan et al. (2022), quienes encontraron que los efectos del ultrasonido en la pérdida de agua en productos acuícolas dependen fuertemente de las condiciones del tratamiento y de las propiedades del tejido. significativos en este parámetro (Anexo 6, Tabla 6A).

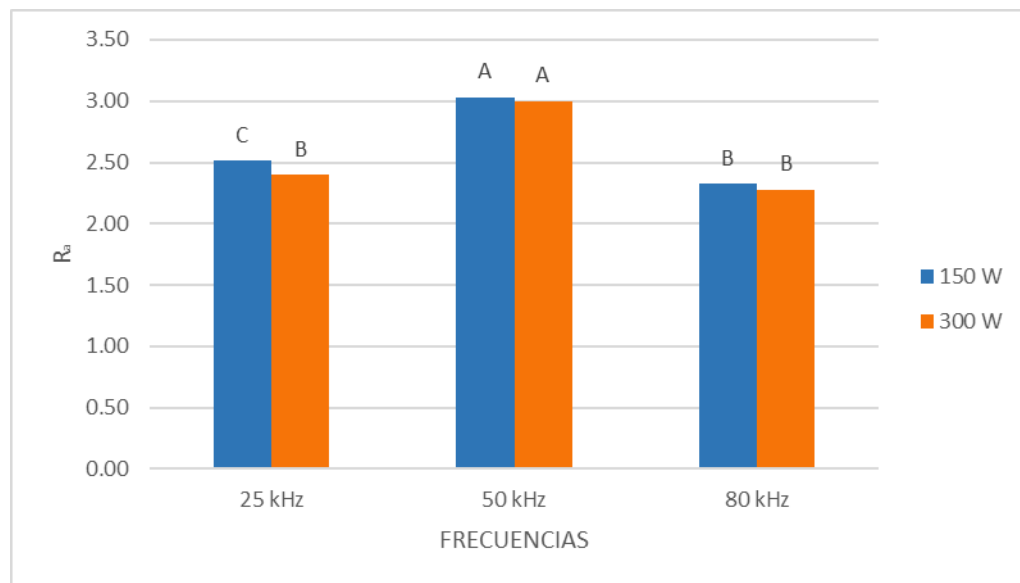
Por otra parte, Shi et al., (2019), menciona que cuando se aplica ultrasonido durante la congelación (UIF), se generan microcorrientes y cavitación en el líquido circundante, lo que aumenta la tasa de transferencia de calor y masa. Esto conduce a una formación más rápida y uniforme de cristales de hielo, lo que a su vez reduce el tiempo total de congelación. Por otro lado, en la congelación por inmersión convencional (IF), no se utiliza ultrasonido, lo que resulta en una tasa de congelación más lenta debido a una transferencia de calor menos eficiente. La pérdida de agua durante la descongelación influye en la apariencia, el peso, el color y la calidad sensorial de la carne y los productos cárnicos (Sun, Zhao, et al., 2019).

4.1.5. Textura

En la Figura 14 se presenta la representación gráfica de la textura de filetes de trucha arcoíris en función de tres frecuencias de ultrasonido (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz) y dos niveles de potencia (150 W y 300 W).

Figura 14

Textura de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias



En dicha Figura muestra que la potencia de 300 W disminuye la textura de los filetes a medida que aumenta la frecuencia. En cuanto a 150 W, la textura también disminuye, pero en menor medida que a una potencia más alta. En contraste, a una potencia de 300 W, aunque la dureza también alcanza un resultado alto a 50 kHz, los valores son consistentemente más bajos que los obtenidos a 150 W, indicando que la mayor potencia puede causar una desnaturalización excesiva de proteínas o pérdida de agua, resultando en una textura menos firme. La combinación de una potencia de 150 W y una frecuencia de 50 kHz parece ser óptima para maximizar la dureza del músculo, lo cual es importante para optimizar procesos de cocción y mejorar la calidad del producto en la industria alimentaria.



En el ANVA (Anexo 7, Tabla 7A), para la textura de los filetes de trucha, se muestra que tanto la potencia (valor-p = 0.0003), la frecuencia (valor-p = 0.0000) como su interacción (valor-p = 0.0343) tienen un impacto significativo sobre la textura del producto. Los resultados indican que una mayor potencia de congelación puede afectar negativamente la textura, mientras que una mayor frecuencia parece hacerla más suave. La interacción entre ambos factores también juega un papel importante, ya que combinaciones específicas de potencia y frecuencia generan texturas significativamente diferentes. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos, que destacan la influencia de estos parámetros en la calidad sensorial de los productos pesqueros, especialmente en la textura, que puede verse alterada por las condiciones de congelación (Santacatalina et al., 2016).

Zhang (2018) y Sun (2019), que utilizaron metodologías similares para medir la fuerza de corte, asegurando la fiabilidad y reproducibilidad de las observaciones. La combinación de una potencia de 150 W y una frecuencia de 50 KHz parece ser óptima para maximizar la dureza del músculo, lo cual es importante para optimizar procesos de cocción y mejorar la calidad del producto en la industria alimentaria.

Así mismo la falta de significancia estadística podría explicarse por la estabilidad del contenido de agua en los filetes de trucha arcoíris frente a los parámetros evaluados. Sin embargo, las variaciones observadas, especialmente a 50 kHz, sugieren que ciertas combinaciones específicas de potencia y frecuencia pueden influir en el grado de pérdida de peso, aunque no de manera suficientemente consistente como para ser significativas en este análisis. Esto concuerda parcialmente con estudios previos, como los de Sun, Zhao, et al.,

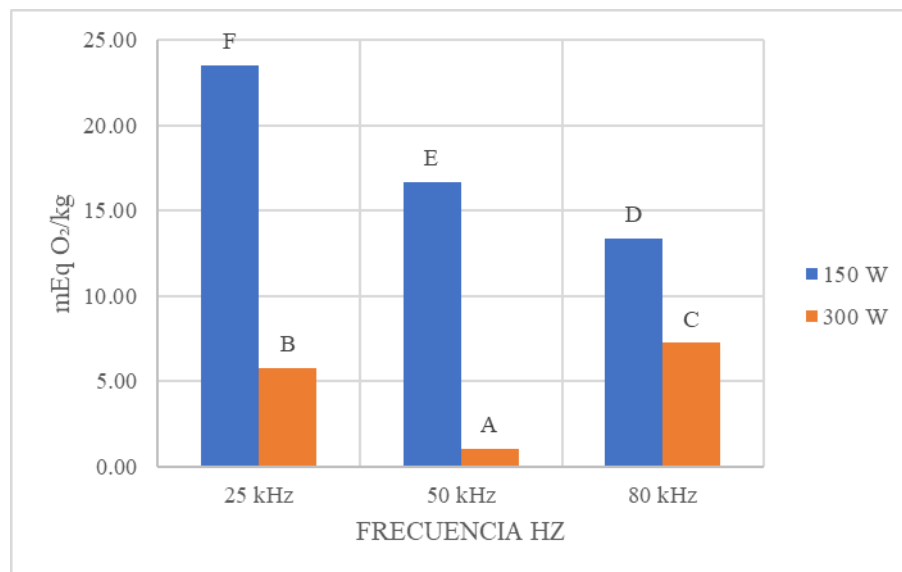
(2019), quienes encontraron que los efectos del ultrasonido en la pérdida de agua en productos acuícolas dependen fuertemente de las condiciones del tratamiento y de las propiedades del tejido.

4.1.6. Oxidación de lípidos

En la Figura 15 se presenta la oxidación de lípidos de filetes de trucha arcoíris, medida como meq O₂/kg, en función de tres frecuencias de ultrasonido (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz) y dos niveles de potencia (150 W y 300 W). Esta figura permite evaluar el impacto combinado de la frecuencia y la potencia en la estabilidad oxidativa de los lípidos de los filetes tratados.

Figura 15

Oxidación de lípidos de filetes de trucha arcoíris en diferentes potencias.



En dicha figura se ilustra cómo las columnas reflejan cambios en la oxidación de lípidos en función de la frecuencia y la potencia, observándose que tanto los valores altos como bajos varían entre combinaciones, destacando diferencias que no siguen un patrón uniforme en todos los casos.



El ANVA (ANEXO 8, tabla 8A) muestra que la potencia, la frecuencia y su interacción tienen efectos altamente significativos sobre la oxidación de lípidos en filetes de trucha arcoíris, con valores-p extremadamente bajos (potencia: 0.0000; frecuencia: 0.0000; interacción: 0.0000). Estos resultados confirman que tanto los niveles individuales de potencia y frecuencia como su combinación influyen de manera significativa en los niveles de oxidación. La prueba de Duncan (tabla 8B) clasifica los niveles de oxidación según la potencia, indicando que 300 W genera una oxidación significativamente menor que 150 W. De manera similar, la prueba para la frecuencia (tabla 8C) muestra que 50 kHz resulta en los valores más bajos de oxidación, mientras que 25 kHz produce los más altos. Finalmente, la tabla 8D analiza la interacción entre potencia y frecuencia, revelando combinaciones específicas con mayores y menores niveles de oxidación, donde 300 W combinado con 50 kHz representa la configuración óptima para minimizar la oxidación, mientras que 150 W con 25 kHz genera la mayor oxidación. Estos hallazgos destacan la importancia de ajustar cuidadosamente ambos parámetros para controlar eficazmente la oxidación lipídica.

Qiu et al., (2020), encontraron que la congelación asistida por ultrasonido reduce la oxidación de lípidos debido a la formación de pequeños cristales de hielo, lo cual concuerda con la menor oxidación observada a mayor potencia en el gráfico.

Estos hallazgos son consistentes con lo que se ha observado en otros estudios sobre la oxidación lipídica en productos congelados. Según Xuan et al., (2021), la oxidación de lípidos es una de las principales preocupaciones en los productos pesqueros, ya que puede afectar tanto la calidad sensorial como la seguridad del alimento. La potencia y la frecuencia de congelación pueden influir

significativamente en el grado de oxidación de los lípidos, ya que estos factores afectan la estructura celular y la interacción de los componentes lipídicos en los productos.

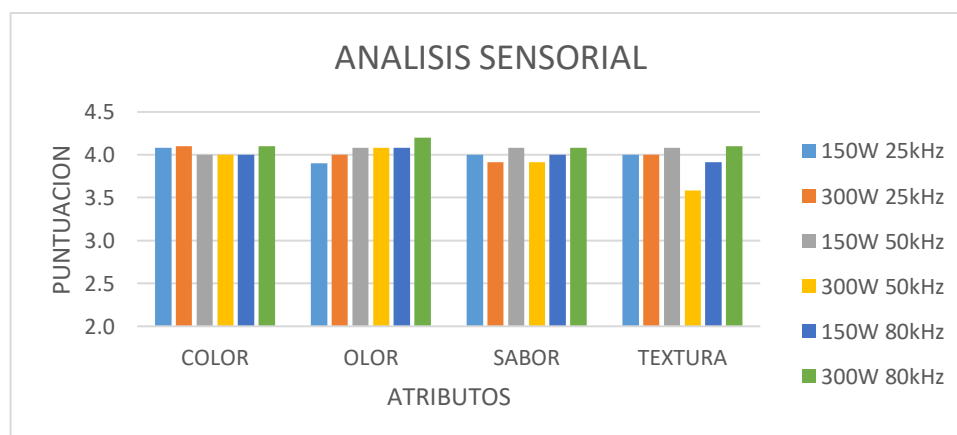
Los resultados obtenidos concuerdan con los de Zhang et al., (2019), quienes demostraron que la congelación asistida por ultrasonido presenta menor oxidación de lípidos en comparación con otros tipos de congelación debido a los pequeños cristales de hielo formados y distribuidos de manera uniforme.

4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA POTENCIA DE ULTRASONIDO Y LA FRECUENCIA EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES.

La Figura 16, se muestran los resultados de análisis sensorial de filetes de trucha arcoíris tratados con ultrasonido a dos potencias (150 W y 300 W) y tres frecuencias (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz). Se evaluaron color, olor, sabor y textura, destacando variaciones en el sabor bajo ciertas condiciones.

Figura 16

Análisis sensorial de filetes de trucha arcoíris a dos potencias y tres frecuencias.





En dicha Figura el Análisis sensorial de filetes de trucha arcoíris sometidos a ultrasonido bajo dos potencias (150 W y 300 W) y tres frecuencias (25 kHz, 50 kHz y 80 kHz). Se evaluaron cuatro atributos sensoriales: color, olor, sabor y textura. Los resultados muestran que el color, el olor y la textura mantienen puntuaciones consistentemente altas en todas las condiciones, mientras que el sabor presenta variaciones significativas, especialmente a mayor potencia y frecuencias de 25 kHz y 50 kHz. Esta figura permite observar el impacto combinado de la potencia y la frecuencia sobre las características sensoriales de los filetes tratados.

La estabilidad de las puntuaciones sensoriales podría explicarse por la resistencia de las propiedades organolépticas del producto frente a los tratamientos de ultrasonido dentro de los niveles estudiados. Este comportamiento es consistente con estudios previos, como los realizados por Xuan et al.(2021), quienes concluyeron que los parámetros sensoriales en productos acuícolas son menos susceptibles a cambios durante procesos de ultrasonido en comparación con otros atributos fisicoquímicos, como la oxidación de lípidos.

El ANVA para los atributos sensoriales de color, olor, sabor y textura no mostró efectos significativos de los factores niveles de ultrasonido y panelistas, ya que los valores-p fueron mayores que 0.05 en todos los casos. Esto sugiere que ni los diferentes niveles de ultrasonido aplicados ni las variaciones entre panelistas influyen significativamente en la percepción sensorial de estos atributos en los filetes de trucha. Estos resultados son consistentes con estudios previos, como los de Ojha et al.(2018), que indican que, aunque el ultrasonido puede modificar algunas propiedades fisicoquímicas de los alimentos, su impacto en los atributos sensoriales es generalmente pequeño o nulo, dependiendo de la intensidad del tratamiento y el tipo de producto, la congelación puede producir un cambio en la desnaturalización de proteínas y oxidación de lípidos, lo que



disminuye la calidad sensorial debido a las quemaduras en la estructura de la carne causadas por el congelamiento (Turgut et al., 2017). La congelación por inmersión asistida por ultrasonido muestra una mejor conservación del color, olor, sabor y textura lo que contribuye a una mejor calidad sensorial (Sun et al., 2021), siendo aceptada tanto en carnes como en la trucha arcoíris.



V. CONCLUSIONES

- El efecto de la potencia y la frecuencia del ultrasonido en las propiedades fisicoquímicas de los filetes de trucha arcoíris congelados mediante inmersión ultrasónica, no influyeron significativamente en el pH, la pérdida de peso ni el color. Sin embargo, si tuvo un impacto considerable en el tiempo de congelación y la oxidación de lípidos. Los resultados indican que niveles más altos de potencia y frecuencia son más efectivos para preservar la calidad fisicoquímica de los filetes durante la congelación ultrasónica, favoreciendo la formación de cristales de hielo más pequeños y uniformes, lo que reduce la oxidación de lípidos.
- La potencia y la frecuencia de ultrasonido no afecta sobre las características sensoriales de los filetes de trucha arcoíris congelados mediante inmersión asistida por ultrasonido. Por lo tanto confirman que la congelación asistida por ultrasonido es una técnica eficaz para optimizar tanto las características fisicoquímicas como sensoriales de los productos pesqueros, demostrando su eficiencia al reducir significativamente el tiempo de congelación y preservar la calidad global del producto.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios adicionales en diferentes partes de la trucha para determinar los niveles óptimos de potencia y frecuencia de ultrasonido que maximicen la calidad fisicoquímica y sensorial de los filetes de trucha arcoíris. Además, se podría utilizar otro líquido de inmersión que tenga la capacidad de retener el efecto de enfriamiento. Esto incluiría probar diferentes combinaciones y ampliar el rango de parámetros utilizados.
- Es importante ampliar la investigación para incluir otros tipos de pescado y productos del mar. Esto permitirá evaluar si los beneficios observados en la trucha arcoíris son aplicables a otros productos, potenciando así el impacto de la tecnología de ultrasonido en la industria pesquera.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aas, T. S., Åsgård, T., & Ytrestøyl, T. (2022a). Chemical composition of whole body and fillet of slaughter sized Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in Norway in 2020. *Aquaculture Reports*, 25(April), 0–5. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101252>
- Aas, T. S., Åsgård, T., & Ytrestøyl, T. (2022b). Utilization of feed resources in the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Norway in 2020. *Aquaculture Reports*, 26, 101317. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2022.101317>
- Adhikari, B. M., Truong, T., Prakash, S., Bansal, N., & Bhandari, B. (2020). Impact of incorporation of CO₂ on the melting, texture and sensory attributes of soft-serve ice cream. *International Dairy Journal*, 109, 104789. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104789>
- Akdeniz, V., & Akalın, A. S. (2019). New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 86, pp. 392–398). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.046>
- Bao, S., Zhuo, L., Qi, D., Tian, H., Wang, D., Zhu, B., Meng, Y., & Ma, R. (2023). Comparative study on the fillet nutritional quality of diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Reports*, 28(November 2022), 101431. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101431>
- BCRP. (2022). *Puno : Síntesis de Actividad Económica Departamento de Estudios Económicos Resumen Ejecutivo*. <https://bit.ly/3tvHapb>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70(July 2020), 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Bian, C., Yu, H., Yang, K., Mei, J., & Xie, J. (2022). Effects of single-, dual-, and multi-frequency ultrasound-assisted freezing on the muscle quality and myofibrillar protein structure in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Food Chemistry: X*, 15(March), 100362. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100362>



- Bogdanova, E., Fureby, A. M., & Kocherbitov, V. (2022). Influence of Cooling Rate on Ice Crystallization and Melting in Sucrose-Water System. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, *111*(7), 2030–2037. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2022.01.027>
- Bonett, D. C., & Precios, I. Í. De. (2022). *Créditos : Junio 2022*. 1–38.
- Brennan, J., Butteri, J., Cowell, N., LiHey, A., & Acibia, E. S. (1998). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos Tercera Edición*.
- Carranza, R. (2019). Congelación De Alimentos. *Ciencia & Desarrollo*, *3*, 68–72. <https://doi.org/10.33326/26176033.1996.3.67>
- Chemat, F., & Khan, M. K. (2011). Ultrasonics Sonochemistry Applications of ultrasound in food technology : Processing , preservation and extraction. *Ultrasonics - Sonochemistry*, *18*(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A., Meullemiestre, A., & Abert-vian, M. (2016). Ultrasound assisted extraction of food and natural products . Mechanisms , techniques , combinations , protocols and applications . *Ultrasonics - Sonochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chen, X., Liu, H., Li, X., Wei, Y., & Li, J. (2022). Effect of ultrasonic-assisted immersion freezing and quick-freezing on quality of sea bass during frozen storage. *Lwt*, *154*(June 2021), 112737. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112737>
- Choi, E. J., Anh, H., Kim, M., Hojong, H., & Kim, W. June. (2015). Effect of ultrasonication on fermentation kinetics of beer using six-row barley cultivated in Korea. *J Institute Brewing & Distilling*, *121*, 510–517.
- Chuhan, Cheng, H., Yu, H., Mei, J., & Xie, J. (2022). Effect of multi-frequency ultrasound assisted thawing on the quality of large yellow croaker (*Larimichthys*



- crocea). *Ultrasonics Sonochemistry*, 82.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105907>
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. (2008). *Norma Técnica Peruana NTP-ISO 5492 2008: Análisis Sensorial. Vocabulario. Lima 41*, 1–30.
- Costa, F. (2018). Informe Técnico: Variación de los Indicadores de Precios de la Economía. In *INEI*.
- Damodaran, S., & Wang, S. (2017). Ice Crystal Growth Inhibition by Peptides from Fish Gelatin Hydrolysate. *Food Hydrocolloids*.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.029>
- FAO. (2014). Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris. *Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Alimentacion y La Agricultura*.
<https://www.fao.org/3/bc354s/bc354s.pdf>
- Figueirêdo, B. C., Trad, I. J., Regina, L., Mariutti, B., & Bragagnolo, N. (2014). Effect of annatto powder and sodium erythorbate on lipid oxidation in pork loin during frozen storage. *FRIN*, 65, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.016>
- Fritsch, E. B., & Pessah, I. N. (2013). Structure–activity relationship of non-coplanar polychlorinated biphenyls toward skeletal muscle ryanodine receptors in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*, 140–141, 204–212.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2013.06.003>
- Gil Arango, S. (2020). *Anatomía de un vertebrado :: Trucha arcoíris. descripcion*, 1.
[//es.scribd.com/document/455884160/Anatomia-de-un-vertebrado-Trucha-arcoiris-BIOINNOVA](https://es.scribd.com/document/455884160/Anatomia-de-un-vertebrado-Trucha-arcoiris-BIOINNOVA)
- Ho, Peter; Vieira, M. (2008). *Experiments on the freezing of fish in an air- blast freezer* (vol. 2).
- Jimenez-Avalos, H. A., Chaires-Martinez, L., & Perez-Vargas, M. A. (2013). Prediction of freezing time and evaluation of the effect of frozen storage on textural properties of white trout fillets. *Food Science and Technology Research*, 19(3), 375–379. <https://doi.org/10.3136/fstr.19.375>
- Kamal, H., Ali, A., Manickam, S., & Le, C. F. (2023). Impact of cavitation on the



- structure and functional quality of extracted protein from food sources – An overview. *Food Chemistry*, 407(May 2022).
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135071>
- Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2011). The physical and chemical effects of ultrasound. In *Food Engineering Series*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_1
- Kong, F., & Singh, R. P. (2011). Chemical deterioration and physical instability of foods and beverages. In *Food and Beverage Stability and Shelf Life*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092540.1.29>
- Leong, T. S. H., Zhou, M., Kukan, N., Ashokkumar, M., & Martin, G. J. O. (2017). Preparation of water-in-oil-in-water emulsions by low frequency ultrasound using skim milk and sunflower oil. *Food Hydrocolloids*, 63, 685–695. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.017>
- Li, F., Wang, B., Kong, B., Xia, X., & Bao, Y. (2022). Impact of Ultrasound-assisted Saline Thawing on the Technological Properties of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*, 86(April), 106014. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106014>
- Llave, Y., & Sakai, N. (2018). Dielectric Defrosting of Frozen Foods. In *Food Processing for Increased Quality and Consumption*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811447-6.00013-8>
- Maquera, F. C. (2009). Congelación y refrigeración de filetes de trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*) envasado al vacío. *Universidad Nacional Del Altiplano*. <http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/3346>
- MINAG. (2008). “ *MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE TRUCHAS EN JAULAS FLOTANTES* .”
- Mukhtar, K., Nabi, B. G., Arshad, R. N., Roobab, U., Yaseen, B., Ranjha, M. M. A. N., Aadil, R. M., & Ibrahim, S. A. (2022). Potential impact of ultrasound, pulsed electric field, high-pressure processing and microfluidization against thermal treatments preservation regarding sugarcane juice (*Saccharum officinarum*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 90(October), 106194. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106194>



- Nishad, J., Dutta, A., Saha, S., Rudra, S. G., Varghese, E., Sharma, R. R., Tomar, M., Kumar, M., & Kaur, C. (2021). Ultrasound-assisted development of stable grapefruit peel polyphenolic nano-emulsion: Optimization and application in improving oxidative stability of mustard oil. *Food Chemistry*, 334(July 2020), 127561. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127561>
- Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos. (2022). *Reporte Coyuntural Sector Pesca y Acuicultura Resultados del Desempeño de la Pesca Extractiva*. 1–9.
- Ojha, K. S., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2018). Effect of Ultrasound Technology on Food and Nutritional Quality. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 207–240. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.001>
- Okuda, K., Kawauchi, A., & Yomogida, K. (2020). Data of the freezing curves of tuna blocks with or without the weak oscillating magnetic fields. *Data in Brief*, 31, 105852. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105852>
- Orrego, C. (2015). *Congelación y liofilización de alimentos* (Issue December 2008).
- Orrego, & De, A. (2015). *procesamiento de alimentos* (C. de P. U. N. de C. S. Manizales & Marzo (eds.); primera ed).
- Ozuna, R., & Martinez, O. (2012). Ultrasonido Y Sus Aplicaciones En El Procesamiento De Alimentos. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 13(2), 109–122. [https://doi.org/ISSN: 1665-0504](https://doi.org/ISSN:1665-0504)
- Pérez-Campos, S. J., Chavarría-Hernández, N., Alfaro-Rodríguez, R. H., & Rodríguez-Hernández, A. I. (2016). Ultrasonido: tecnología emergente en la extracción de biomoléculas de interés para la industria de alimentos y farmacéutica. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 2(3), 1–6. <https://doi.org/10.29057/icap.v2i3.998>
- Puntaca Chura, L. C. (2019). Efecto del método de congelación en dos regiones anatómicas sobre las características de color y textura del filete de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) [una]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11694>



- Qiu, L., Zhang, M., Chitrakar, B., & Bhandari, B. (2020). Application of Power Ultrasound in Freezing and Thawing Processes : Effect on Process Efficiency and Product Quality. In *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105230>
- Sadot, M., Curet, S., Chevallier, S., Le-bail, A., Rouaud, O., & Havet, M. (2020). Microwave assisted freezing part 2 : Impact of microwave energy and duty cycle on ice crystal size distribution. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62(April), 102359. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102359>
- Sadot, M., Curet, S., Chevallier, S., Le-Bail, A., Rouaud, O., & Havet, M. (2020). Microwave assisted freezing part 2: Impact of microwave energy and duty cycle on ice crystal size distribution. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 62, 102359. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2020.102359>
- Santacatalina, J. V., Guerrero, M. E., Garcia-Perez, J. V., Mulet, A., & Cárcel, J. A. (2016). Ultrasonically assisted low-temperature drying of desalted codfish. *Lwt*, 65, 444–450. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.023>
- Shi, Z., Zhong, S., Yan, W., Liu, M., Yang, Z., & Qiao, X. (2019). The effects of ultrasonic treatment on the freezing rate, physicochemical quality, and microstructure of the back muscle of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Lwt*, 111(70), 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.071>
- Sistema Nacional de Acuicultura. (2022). *Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Trucha*. <https://rnia.produce.gob.pe/sistema-nacional-de-acuicultura-sinacui-elabora-manuales-tecnicos-sobre-el-cultivo-de-trucha-concha-de-abanico-y-gamitana/>
- Speranza, B., Racioppo, A., Bevilacqua, A., Buzzo, V., Marigliano, P., Mocerino, E., Scognamiglio, R., Corbo, M. R., Scognamiglio, G., & Sinigaglia, M. (2021). Innovative preservation methods improving the quality and safety of fish products: Beneficial effects and limits. *Foods*, 10(11), 1–26. <https://doi.org/10.3390/foods10112854>
- Sun, Q., Chen, Q., Xia, X., Kong, B., & Diao, X. (2019). Effects of ultrasound-assisted freezing at different power levels on the structure and thermal stability of common



- carp (*Cyprinus carpio*) proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, *54*, 311–320.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.026>
- Sun, Q., Kong, B., Liu, S., Zheng, O., & Zhang, C. (2021). Ultrasound-assisted thawing accelerates the thawing of common carp (*Cyprinus carpio*) and improves its muscle quality. *LWT*, *141*(February), 111080.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111080>
- Sun, Q., Zhao, X., Zhang, C., Xia, X., Sun, F., & Kong, B. (2019). Ultrasound-assisted immersion freezing accelerates the freezing process and improves the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) at different power levels. *LWT*, *108*, 106–112.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.042>
- Tan, M., Mei, J., & Xie, J. (2021). The formation and control of ice crystal and its impact on the quality of frozen aquatic products: A review. *Crystals*, *11*(1), 1–17.
<https://doi.org/10.3390/CRYST11010068>
- Thiex, N., Novotny, L., & Crawford, A. (2012). Determination of ash in animal feed: AOAC Official Method 942.05 revisited. *Journal of AOAC International*, *95*(5), 1392–1397. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129>
- Tiwari, B. K. (2015). Trends in Analytical Chemistry Ultrasound: A clean , green extraction technology. *Trends in Analytical Chemistry*, *71*, 100–109.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013>
- Turgut, S. S., Işıklı, F., & Soyer, A. (2017). PT SC. *Meat Science*.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.019>
- Umaña Cerros, E. (2005). Conservación de alimentos por frío. *Fiagro Y Fusades Proinnova*, 1–235.
- Weng, Y. K., Shin, S., Kihm, K. D., Bahzad, M., & Aaron, D. S. (2022). Investigation of microscopic mechanisms for water-ice phase change propagation control. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *184*, 122357.
<https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2021.122357>
- Xu, C., Zang, M., Qiao, X., Wang, S., Zhao, B., Shi, Y., Bai, J., & Wu, J. (2022). Effects of ultrasound-assisted thawing on lamb meat quality and oxidative stability during



- refrigerated storage using non-targeted metabolomics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90(70), 106211. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106211>
- Xuan, Mei, J., & Xie, J. (2021). Effects of multi-frequency ultrasound on the freezing rates, quality properties and structural characteristics of cultured large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). In *Ultrasonics Sonochemistry* (Vol. 76). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105657>
- Yamashita, T., & Ando, K. (2019). Low-intensity ultrasound induced cavitation and streaming in oxygen-supersaturated water: Role of cavitation bubbles as physical cleaning agents. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.025>
- Yang, S., Lian, Z., Wang, M., Liao, P., Wu, H., Cao, J., Tong, X., Tian, T., Wang, H., & Jiang, L. (2022). Molecular structural modification of β -conglycinin using pH-shifting with ultrasound to improve emulsifying properties and stability. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90(July), 106186. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106186>
- Yoon, Y., Jeong, H., & Lee, K. S. (2018). Adaptive defrost methods for improving defrosting efficiency of household refrigerator. *Energy Conversion and Management*, 157(December 2017), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.039>
- Zhang, Li, F., Diao, X., Kong, B., & Xia, X. (2017). Moisture migration, microstructure damage and protein structure changes in porcine longissimus muscle as influenced by multiple freeze-thaw cycles. *Meat Science*, 133(January), 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.019>
- Zhang, M., Haili, N., Chen, Q., Xia, X., & Kong, B. (2018). Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine longissimus muscles. *Meat Science*, 136, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.005>
- Zhang, T., Wang, J., Feng, J., Liu, Y., Suo, R., Ma, Q., & Sun, J. (2022). Effects of ultrasonic–microwave combination treatment on the physicochemical, structure and gel properties of myofibrillar protein in *Penaeus vannamei* (*Litopenaeus*



vannamei) surimi. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90(October), 106218.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106218>

Zhang, Xia, X., Liu, Q., Chen, Q., & Kong, B. (2019). Changes in microstructure, quality and water distribution of porcine longissimus muscles subjected to ultrasound-assisted immersion freezing during frozen storage. *Meat Science*, 151, 24–32.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.002>

Zhang, Z., Xiong, F., Wang, Y., Dai, C., Xing, Z., Dabbour, M., Mintah, B., He, R., & Ma, H. (2019). Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* in a one liter flask coupled with an external circulation ultrasonic irradiation slot: Influence of ultrasonic mode and frequency on the bacterial growth and metabolism yield. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 39–47.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.017>

Zhao, H., Zhang, F., Hu, H., Liu, S., & Han, J. (2017). Experimental study on freezing of liquids under static magnetic field. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25(9), 1288–1293. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.10.026>

Zirena, F., Cahui, N., Tejedo, J. R., Alejandro, W., Nely, C., Quiróz, C., & Luiz, V. (2021). Occurrence of residues of veterinary antibiotics in water, sediment and trout tissue (*Oncorhynchus mykiss*) in the southern area of Lake Titicaca, Peru. *Journal of Great Lakes Research*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.04.012>



ANEXOS

ANEXO 1. Análisis de varianza para la variable tiempo de congelación

1A ANVA para tiempo de congelación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Sig.</i>
EFFECTOS						
PRINCIPALES						
<i>A:POTENCIA</i>	612.5	1	612.5	735.00	0.0000	S.S.
<i>B:FRECUENCIA</i>	399.0	2	199.5	239.40	0.0000	S.S.
INTERACCIONES						
<i>AB</i>	223.0	2	111.5	133.80	0.0000	S.S.
<i>RESIDUOS</i>	10.0	12	0.833333			
<i>TOTAL</i>	1244.5	17				
(CORREGIDO)						

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual
2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia

1.B Prueba de Duncan para potencia

<i>POTENCIA</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	9	28.6667	0.30429	A
1	9	40.3333	0.30429	B

Método: 95.0 porcentaje Duncan

1.C Prueba de Duncan para frecuencia

<i>FRECUENCIA</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	6	28.5	0.372678	A
2	6	35.0	0.372678	B
1	6	40.0	0.372678	C

Método: 95.0 porcentaje Duncan

1.D Interacción DCA para tiempo de congelación

<i>Interacción</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	3	18.0	A
5	3	30.0	B
4	3	38.0	C
3	3	39.0	C
2	3	40.0	D
1	3	42.0	E

Método: 95.0 porcentaje Duncan



ANEXO 2. Análisis de varianza para la variable independiente pH

2A. ANVA para pH

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Sig.</i>
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:POTENCIA	0.0002	1	0.0002	0.49	0.4988	N.S.
B:FRECUENCIA	0.000133333	2	0.0000666667	0.16	0.8521	N.S.
INTERACCIONES						
AB	0.000533333	2	0.000266667	0.65	0.5401	N.S.
RESIDUOS	0.00493333	12	0.000411111			
TOTAL	0.0058	17				
(CORREGIDO)						

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual
2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia

ANEXO 3. Análisis de varianza para la variable color L*

3A. ANVA para color L*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Sig.</i>
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:POTENCIA	2.96056	1	2.96056	0.97	0.3453	N.S.
B:FRECUENCIA	4.88444	2	2.44222	0.80	0.4735	N.S.
INTERACCIONES						
AB	32.6978	2	16.3489	5.33	0.0221	S.S.
RESIDUOS	36.8067	12	3.06722			
TOTAL	77.3494	17				
(CORREGIDO)						

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual
2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia

1.B Prueba de Duncan para potencia

<i>POTENCIA</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	9	36.0889	0.583783	A
2	9	36.9	0.583783	A

Método: 95.0 porcentaje Duncan

1.C Prueba de Duncan para frecuencia

<i>FRECUENCIA</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	6	35.7833	0.714985	A
2	6	36.6833	0.714985	A



3	6	37.0167	0.714985	A
---	---	---------	----------	---

Método: 95.0 porcentaje Duncan

1.D Interacción DCA para COLOR L*

Factor_A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	3	34.5667	A
3	3	34.9333	A
2	3	36.3333	B
1	3	37.0	B
5	3	37.0333	B
6	3	38.4333	C

Método: 95.0 porcentaje Duncan

ANEXO 4. BAnálisis de varianza para la variable color a*

4A. ANVA para color a*

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: POTENCIA	1.33389	1	1.33389	0.27	0.6147	N.S.
B: FRECUENCIA	6.44778	2	3.22389	0.65	0.5416	N.S.
INTERACCIONES						
AB	0.987778	2	0.493889	0.10	0.9066	N.S.
RESIDUOS	59.9267	12	4.99389			
TOTAL (CORREGIDO)	68.6961	17				

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia

ANEXO 5. Análisis de varianza para la variable color b*

5A. ANVA para color b*

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: POTENCIA	6.125	1	6.125	1.00	0.3369	N.S.
B: FRECUENCIA	3.61444	2	1.80722	0.30	0.7496	N.S.
INTERACCIONES						
AB	3.01	2	1.505	0.25	0.7859	N.S.
RESIDUOS	73.4667	12	6.12222			
TOTAL (CORREGIDO)	86.2161	17				

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia



ANEXO 6. Análisis de varianza para la pérdida de peso

6A ANVA para tiempo de pérdida de peso

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:POTENCIA	0.0672222	1	0.0672222	0.18	0.6784	N.S.
B:FRECUENCIA	0.147778	2	0.0738889	0.20	0.8226	N.S.
INTERACCIONES						
AB	0.847778	2	0.423889	1.14	0.3525	N.S.
RESIDUOS	4.46667	12	0.372222			
TOTAL	5.52944	17				
(CORREGIDO)						

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual
2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia

ANEXO 7. Análisis de varianza para la textura

7A. ANVA para textura

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: POTENCIA	0.798006	1	0.798006	24.70	0.0003	S.S.
B: FRECUENCIA	2.31168	2	1.15584	35.77	0.0000	S.S.
INTERACCIONES						
AB	0.292411	2	0.146206	4.52	0.0343	S.S.
RESIDUOS	0.387733	12	0.0323111			
TOTAL (CORREGIDO)	3.78983	17				

1. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual
2. FV = Fuentes de variación; SC = Suma de cuadrados, GL = Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; F= Estadístico F; p-valor= Significancia

7B. Prueba múltiple de factor de potencia

POTENCI A	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2/300	9	2.20556	0.0599176	A
1/150	9	2.62667	0.0599176	B

Método: 95.0 porcentaje Duncan



7C. Prueba múltiple de frecuencia

FRECUENCIA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	6	1.95833	0.0733838	A
1	6	2.45667	0.0733838	B
2	6	2.83333	0.0733838	C

Método: 95.0 porcentaje Duncan

7D. Interacción DCA para textura

Factor_A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6	3	1.58667	A
3	3	2.33	B
4	3	2.39667	B
1	3	2.51667	B
5	3	2.63333	C
2	3	3.03333	D

Método: 95.0 porcentaje Duncan

ANEXO 8. Análisis de varianza para oxidación de lípidos

8A. ANVA para oxidación de lípidos

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: POTENCIA	776.705	1	776.705	6470.75	0.0000	S.S.
B: FRECUENCIA	107.492	2	53.746	447.76	0.0000	S.S.
INTERACCIONES						
AB	113.645	2	56.8226	473.39	0.0000	S.S.
RESIDUOS	1.4404	12	0.120033			
TOTAL (CORREGIDO)	999.283	17				

Test: Duncan Alfa=0.05

8B. Prueba de Duncan para potencia

POTENCIA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2/300w	9	4.69333	0.115486	A
1/150w	9	17.8311	0.115486	B

Método: 95.0 porcentaje Duncan

8C. Prueba de Duncan para frecuencia.

FRECUENCIA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
------------	-------	----------	----------	-------------------



2/50KHz	6	8.86	0.141441	A
3/80KHz	6	10.3117	0.141441	A
1/25KHz	6	14.615	0.141441	B

Método: 95.0 porcentaje Duncan

8D. Interacción DCA para textura oxidación de lípidos

Factor_A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5	3	1.07	A
4	3	5.76667	B
6	3	7.24333	C
3	3	13.38	D
2	3	16.65	E
1	3	23.4633	F

Método: 95.0 porcentaje Duncan

ANEXO 9. Análisis de varianza para análisis sensorial

9A ANVA para sensorial color

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: NIVELES DE ULTRASONIDO	1.79167	5	0.358333	0.46	0.8032	N.S.
B: PANELISTAS	0.375	11	0.0340909	0.04	1.0000	N.S.
RESIDUOS	42.7083	55	0.776515			
TOTAL (CORREGIDO)	44.875	71				

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

ANEXO 10. Análisis de varianza para atributo

10A ANVA para sensorial olor

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: NIVELES DE ULTRASONIDO	0.277778	5	0.0555556	0.07	0.9967	N.S.
B: PANELISTAS	0.611111	11	0.0555556	0.07	1.0000	N.S.
RESIDUOS	45.0556	55	0.819192			
TOTAL (CORREGIDO)	45.9444	71				

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual



ANEXO 11. Análisis de varianza para análisis

11A ANVA para sensorial de sabor

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: NIVELES ULTRASONIDO	DE 0.333333	5	0.0666667	0.07	0.9959	N.S.
B: PANELISTAS	0.333333	11	0.030303	0.03	1.0000	N.S.
RESIDUOS	49.3333	55	0.89697			
TOTAL (CORREGIDO)	50.0	71				

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

ANEXO 12. Análisis de varianza para análisis

12A ANVA para sensorial de textura

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Sig.
EFFECTOS PRINCIPALES						
A: NIVELES ULTRASONIDO	DE 3.56944	5	0.713889	0.84	0.5295	N.S.
B: PANELISTAS	0.486111	11	0.0441919	0.05	1.0000	N.S.
RESIDUOS	46.9306	55	0.853283			
TOTAL (CORREGIDO)	50.9861	71				

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual



ANEXO 13. Análisis fisicoquímico: índice de peróxidos – filete de trucha Arcoiris.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Certificado de Análisis

Nº 002585

ASUNTO : ANALISIS FISICO QUIMICO: INDICE DE PEROXIDOS – FILETE DE TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*)

SOLICITANTE : BACH. ERICK ANTHONY ARIZACA SOLOISOLO
 PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
 PROYECTO DE TESIS : EVALUAR LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DE FILETES DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) CONGELADO POR INMERSION ASISTIDA POR ULTRASONIDO CON DIFERENTES NIVELES DE POTENCIA Y FRECUENCIA.
 FECHA DE RECEPCION : 07-11-2023
 FECHA DE ENSAYO : 07-11-2023
 FECHA DE EMISION : 22-11-2023
 CODIGO : 8009 - 00554

DETERMINACION DE INDICE DE PEROXIDOS:

Nº DE MUESTRA	MUESTRA	INDICE DE PEROXIDO (mEq/kg)
01	Congelación (m ₁)	1.45
02	Congelación (m ₂)	1.47
03	Congelación (m ₃)	1.55
04	Congelación x Inmersión (m ₁)	18.01
05	Congelación x Inmersión (m ₂)	18.48
06	Congelación x Inmersión (m ₃)	18.18
07	25 Hz/ 150 W (m ₁)	23.20
08	25 Hz/ 150 W (m ₂)	23.44
09	25 Hz/ 150 W (m ₃)	23.75
10	50 Hz/ 150 W (m ₁)	16.74
11	50 Hz/ 150 W (m ₂)	17.02
12	50 Hz/ 150 W (m ₃)	16.19
13	80 Hz/ 150 W (m ₁)	13.84
14	80 Hz/ 150 W (m ₂)	13.24
15	80 Hz/ 150 W (m ₃)	13.06
16	25 Hz/ 300 W (m ₁)	6.19
17	25 Hz/ 300 W (m ₂)	5.54
18	25 Hz/ 300 W (m ₃)	5.57
19	50 Hz/ 300 W (m ₁)	1.05
20	50 Hz/ 300 W (m ₂)	1.09
21	50 Hz/ 300 W (m ₃)	1.07
22	80 Hz/ 300 W (m ₁)	7.53
23	80 Hz/ 300 W (m ₂)	6.78
24	80 Hz/ 300 W (m ₃)	7.42

CONCLUSIÓN: Los resultados INDICE DE PEROXIDOS están conformes.

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2023.

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
 ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
 FIQ - UNA - CIP - 182393

Osvaldo Arponza Alca
 INGENIERO AGROINDUSTRIAL
 C.I.P. 160629
 Laboratorio de Control de Calidad
 Facultad de Ingeniería Química



Walther B. Aparicio Acapán, Ph.D.
 DECANO - F.I.Q. UNAP

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química - Cel.: 951755420



ANEXO 14. Ficha de evaluación sensorial.

PRODUCTO: Evaluación del efecto de la potencia de ultrasonido y la frecuencia en las propiedades sensoriales (Color, Olor, Sabor, Textura) de los filetes de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) congelada por inmersión ultrasónica.

Fecha: .../.../....

Señale con una X.

Género:

Evalúe las siguientes muestras de acuerdo a su criterio, considerando la siguiente escala:

Calificación hedónica	Calificación numérica
Excelente	5
Muy bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Desagradable	1

ESCALA	MUESTRAS							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
COLOR								
OLOR								
SABOR								
TEXTURA								

Comentarios:

¡MUCHAS GRACIAS!

ANEXO 15. Panel fotográfico.

15A. Materia prima y equipos



Fileteado de trucha



Preparacion de muestras para congelación por inmersión

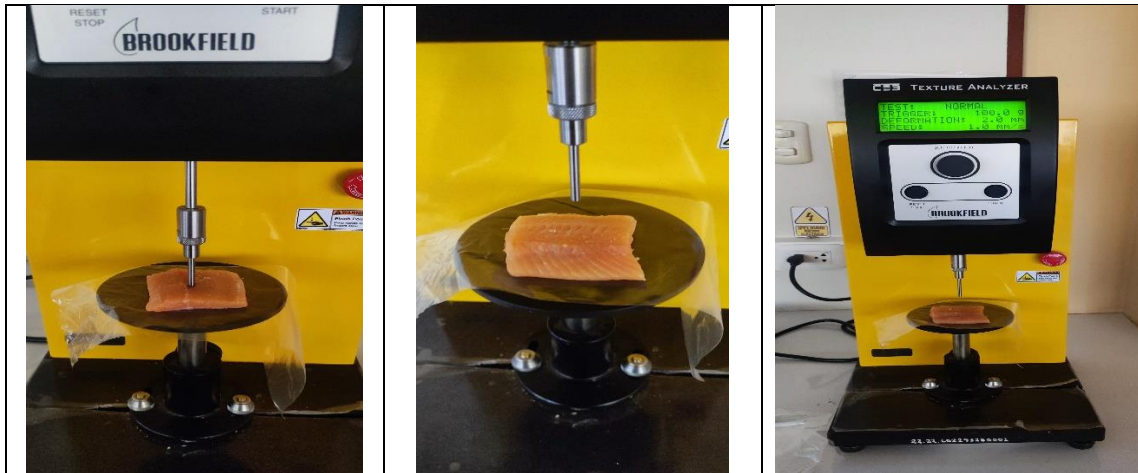


Introduccion de termometro digital en el centro de la muestra para la congelación



Preparacion de equipos para la congelación por inmersión

15B. análisis de: textura, pH, color, pérdida de peso



Analizando filetes de trucha en el texturometro brookfield



Determinacion de Ph



Medicion de color con colorimetro



Medicion de peso inicial(determinacion de perdida de peso x descongelación*)

15C. Análisis sensorial preparación de muestras para secado y secado en estufa



Medicion de peso final(determinacion de perdida de peso x descongelación*)



Analisis sensorial por panelistas (color,olor, sabor,textura*) angulo A



Analisis sensorial por panelistas (color,olor, sabor,textura*) angulo B



Preparacion de muestras para secado

Secado en estufa a 50°C

15D. Análisis determinación de oxidación de lípidos




Muestras para determinación de oxidación de lípidos en base seca*




Determinación de oxidación de lípidos*




ANEXO 16. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



VRI
Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ERICK ANTHONY ARIZACA SOLOISOLO,
identificado con DNI 74970660 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE TRUCHA
ARCOIRIS (MICOCTHYCHUS MYKISS) CONGELADO POR INMERSIÓN Y ASISTIDO
POR ULTRASONIDO CON DIFERENTES NIVELES DE FRECUENCIA Y POTENCIA”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de NOVIEMBRE del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 17. Autorización el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FRICK ANTHONY NIZACA SOLOISOLO,
identificado con DNI 44970660 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DE FILETES
DE TRUCHA ARCOIRIS (ONCORHYNCHUS MYKISS) CONGELADO POR INMERSION Y
ASISTIDO POR ULTRASONIDO CON DIFERENTES NIVELES DE FRECUENCIA Y POTENCIA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de DIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella