UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Modelación de cinéticas de congelamiento mediante enfriamiento por inmersión en diferentes soluciones para camarón, atún, uvilla, arándano, brócoli.

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autora: Josselyn Karina Jima Jiménez

Tutor: Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

Ambato – Ecuador

Febrero – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 17 de enero de 2025

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO ESMIRO
CADENA CARRERA

_____

Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

1715602593

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Josselyn Karina Jima Jiménez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas



Josselyn Karina Jima Jiménez

1727451997

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos del autor.



Josselyn Karina Jima Jiménez

1727451997

AUTORA

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
ESTEBAN MAURICIO FUENTES PEREZ

_____

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
ALEX FABIAN VALENCIA SILVA

_____

Mg. Alex Fabián Valencia Silva

1803121084

Firmado electrónicamente por:
LILIANA ALEXANDRA CERDA MEJIA

_____

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

1804148086

Ambato, 30 de enero de 2025

DEDICATORIA

A mi padre Manuel, el cual me ha brindado su apoyo incondicional en cada decisión y objetivos que me he propuesto, por enseñarme el valor del esfuerzo y perseverancia e inspirarme a seguir adelante en cada momento.

A mi madre Angela, por su entrega incansable, es mi mayor ejemplo de dedicación y esfuerzo. Sus palabras de aliento y su amor han sido fundamentales para la realización de este logro.

A mis hermanos Álvaro y Henry, por su compañía, ayuda, comprensión y motivación en cada paso de este camino. Gracias por ser mi apoyo en los momentos difíciles y por compartir conmigo los momentos de alegría.

Y especialmente, a mi hijo, ya que su existencia ha sido mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

Josselyn

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por la vida de cada persona que ha sido parte de este camino, por darme fuerzas en los momentos difíciles y por permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, mi segundo hogar durante todo mi proceso académico, donde adquirí conocimientos, experiencias y amistades que me acompañarán siempre. Agradezco a cada docente y compañero que contribuyó a mi formación profesional y personal.

A mi tutor, por la paciencia tenida durante la realización de mi tesis, por su guía, consejos y enseñanzas que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su apoyo fue clave para que pudiera superar los desafíos de la investigación.

A mis padres, ya que, por ellos y su esfuerzo durante el transcurso de mi carrera universitaria, hoy puedo cumplir esta meta. Gracias por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del trabajo y la perseverancia, y por brindarme siempre su apoyo en cada paso de mi formación.

A mis hermanos y cuñadas por el apoyo brindado durante este proceso, por sus palabras de aliento, su compañía y comprensión en los momentos de estrés y cansancio. Su presencia ha sido un pilar fundamental para lograr este objetivo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO 15
1.1. Antecedentes investigativos 15
1.1.2. Producción de camarón en Ecuador 16
1.1.3. Producción de atún en Ecuador 17
1.1.4. Producción de arándanos en Ecuador 18
1.1.5. Producción de uvilla en Ecuador 18
1.1.6. Producción de brócoli en Ecuador 19
1.1.7. Congelación 20
1.1.7.1. Etapas de congelación 21
1.1.7.2. Velocidad de congelación 22
1.1.7.3. Temperatura de conservación 23
1.1.8. Congelación por inmersión 23
1.1.8.1. Soluciones refrigerantes 23
1.1.8.2. Tiempo de congelación 24
1.1.9. Modelo matemático de la cinética de congelación 24
1.2. Objetivos 26
1.2.1. Objetivo general 26

1.2.2. Objetivos específicos 27
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 27
2.1. Materiales 27
2.2. Métodos 28
2.2.1. Diseño Experimental 28
2.2.2. Preparación de muestras 28
2.2.3. Caracterización proximal de las muestras 29
2.2.4. Determinación experimentalmente de tiempos de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a bajas temperaturas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión en diferentes soluciones. 29
2.2.5. Obtención experimental de la cinética del proceso de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a bajas temperaturas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión. 30
2.2.5.1. Construcción de la curva en la cinética de congelación 30
2.2.6. Evaluación del ajuste de los datos experimentales de la cinética del proceso de congelamiento por inmersión con modelos matemáticos y fenomenológicos 30
2.2.6.1. Análisis comparativo 30
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31
3.1. Caracterización proximal 31
3.2. Determinación de las propiedades físicas y térmicas para uvilla y arándano 32
3.2.1. Temperaturas iniciales y de congelación 32
3.2.2. Propiedades físicas y térmicas 32
3.2.3. Propiedades térmicas de la uvilla y el arándano. 33
3.2.4. Cinéticas y curvas de congelación para uvilla y arándano 34
3.2.5. Determinación de las propiedades físicas y térmicas para brócoli, camarón, atún. 36
3.2.6. Cinéticas y curvas de congelación para uvilla y arándano 37
3.3. Comparación de resultados 39
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
4.1. Conclusiones 40
4.2. Recomendaciones 40

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41

ANEXOS 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos matemáticos para modelamiento de cinéticas de congelación 25
Tabla 2. Unidades y factores de conversión 25
Tabla 3. Recursos materiales 27
Tabla 4. Composición química de la uvilla, arándanos, brócoli, camarón y atún 32
Tabla 5. Valores de propiedades físicas y térmicas calculadas y experimentales para uvilla y arándano en solución de sacarosa al 35% 33
Tabla 6. Valores de la determinación del tiempo de congelación, calculadas, experimentales y cinéticas de la uvilla y arándano a temperatura de -9.65°C 36
Tabla 7. Valores de propiedades físicas y térmicas calculadas y experimentales para brócoli, camarón y atún en solución de salina al 15% 36
Tabla 8. Valores de la determinación del tiempo de congelación, calculadas, experimentales y cinéticas del brócoli, camarón y atún a temperatura de -9.7 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Camarón blanco (Penaeus vannamei). 17
Figura 2. Atún aleta amarilla (Thunnus albacares). 17
Figura 3. Arándano azul (Vaccinium corymbosum). 18
Figura 4. Uvilla (Physalis peruviana). 19
Figura 5. Brócoli (Brassica oleracea). 19
Figura 6. Formación y orientación de cristales de hielo durante un proceso de congelación. 20
Figura 7. Curva de congelación. 21
Figura 8. Proceso de congelación. 22
Figura 9. Curvas de enfriamiento por inmersión: Temperatura vs Tiempo para uvilla y arándano. 35
Figura 10. Cinéticas de congelación entre Temperatura final (Tf) y Tiempo durante congelación por inmersión para uvilla y arándano. 35
Figura 11. Curvas de enfriamiento por inmersión: Temperatura vs Tiempo para brócoli, camarón y atún. 38
Figura 12. Cinéticas de congelación entre Temperatura final (Tf) y Tiempo durante congelación por inmersión para brócoli, camarón y atún. 38

RESUMEN EJECUTIVO

La industria alimentaria enfrenta el reto constante de preservar la calidad de los productos perecederos, el estudio de la cinética de congelación en alimentos como el camarón, atún, uvilla, arándano y brócoli es fundamental para optimizar los procesos de conservación y garantizar la calidad de los productos. La congelación, al ralentizar las reacciones químicas y enzimáticas, prolonga la vida útil de los alimentos y preserva sus propiedades nutricionales y sensoriales. La velocidad de congelación es un factor clave que influye en la calidad del producto final. Un enfriamiento rápido favorece la formación de cristales de hielo más pequeños, lo que reduce el daño a las células y tejidos, y preserva la textura y el sabor. Técnicas como la inmersión en soluciones criogénicas han demostrado ser eficientes para lograr una congelación rápida y uniforme. La investigación en cinética de congelación es esencial para optimizar los procesos de conservación de alimentos y garantizar la calidad de los productos que llegan al consumidor. La técnica de inmersión en soluciones criogénicas se destaca como una alternativa eficiente para congelar diversos alimentos, preservando sus propiedades y alargando su vida útil. Sin embargo, es necesario continuar investigando para adaptar las técnicas de congelación a las características específicas de cada alimento y desarrollar modelos matemáticos más precisos que permitan predecir el comportamiento de los alimentos durante el proceso de congelación.

Palabras claves: congelación por inmersión**,** tiempo de congelación, calidad alimentaria, cinéticas de congelación.

ABSTRACT

The food industry faces the constant challenge of preserving the quality of perishable products. The study of freezing kinetics in foods such as shrimp, tuna, goldenberry, blueberry, and broccoli is essential for optimizing preservation processes and ensuring product quality. Freezing slows down chemical and enzymatic reactions, extending the shelf life of food while preserving its nutritional and sensory properties. The freezing rate is a key factor influencing the final product quality. Rapid cooling promotes the formation of smaller ice crystals, which reduces cellular and tissue damage, thereby maintaining texture and flavor. Techniques such as immersion in cryogenic solutions have proven to be efficient in achieving rapid and uniform freezing. Research on freezing kinetics is crucial for optimizing food preservation processes and ensuring the quality of products delivered to consumers. The immersion technique in cryogenic solutions stands out as an efficient alternative for freezing various foods while preserving their properties and extending their shelf life. However, further research is needed to adapt freezing techniques to the specific characteristics of each food product and to develop more precise mathematical models that allow for better prediction of food behavior during the freezing process.

Keywords: Immersion freezing, freezing time, food quality, freezing kinetics.

CAPÍTULO I.
MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

La industria alimentaria enfrenta el reto constante de preservar la calidad de los productos perecederos, especialmente aquellos altamente sensibles como camarón, atún, uvilla, arándano y brócoli, que son susceptibles a la degradación microbiológica, física y química durante el almacenamiento y transporte nacional o internacional **(Mendo et al., 2015)**. El congelamiento es una de las técnicas más utilizadas para alargar la vida útil de los alimentos, ya que ralentiza el deterioro y mantiene las propiedades organolépticas y nutricionales de los productos. Sin embargo, el proceso de congelamiento, particularmente en lo que respecta a la cinética de enfriamiento, puede afectar significativamente la calidad final del alimento **(Chaves & Acosta, 2023)**.

La cinética de congelamiento describe cómo un producto se enfría y congela en función del tiempo y la temperatura, es clave para determinar la eficacia del proceso y la calidad final del alimento **(Sun & Delgado, 2010)**. Los estudios han demostrado que la velocidad de congelamiento y las características de la solución utilizada para la inmersión tienen un impacto directo en la calidad del producto congelado. **Lv et al. (2021)** mencionan que el uso de soluciones criogénicas en el congelamiento de mariscos como el camarón resultó en un enfriamiento más uniforme y en la preservación de la textura y el sabor, en comparación con técnicas de congelamiento en aire.

Se ha investigado la cinética de congelamiento de frutas (fresas, uvilla, arándanos, etc.), vegetales (zanahoria, brócoli, coles de brúcelas, etc.) y productos marinos (atún, pulpo, camarones, etc.), y se ha evidenciado que el enfriamiento por inmersión en soluciones criogénicas permite preservar propiedades y la estructura de los alimentos de mejor manera en comparación con otras técnicas como en el congelamiento rápido individual (IQF) o la congelación en cámaras de aire frío **(Bhardwaj et al., 2024)**. Esto se logra por la gran rapidez en la transferencia de calor que brinda el medio líquido, es decir este método reduce significativamente el tiempo de congelamiento, disminuye la deshidratación superficial y evita la formación de quemaduras por congelación en los alimentos. Por lo tanto, son claras ventajas que mejoran la calidad final del producto y optimizan los costos operativos por requerir menor tiempo en el proceso y bajos costos operativos.

Para frutas con alto contenido de humedad como el arándano y la uvilla, la investigación se ha centrado en el comportamiento térmico durante el proceso de congelamiento **(Bhardwaj et al., 2024)**. **Neri et al. (2020)** demostraron que la inmersión en soluciones de sacarosa a bajas temperaturas permite un congelamiento rápido y la formación de cristales de hielo más pequeños, lo que preservaba mejor las

propiedades sensoriales y nutricionales de estas frutas. **Chang et al. (2023)** quienes evaluaron la cinética de congelamiento en frutas de texturas delicada y pequeños calibres, determinaron que el método de inmersión mejora considerablemente la conservación de las frutas en comparación con otros métodos más lentos, como la congelación convencional.

En el caso de vegetales como el brócoli, se ha documentado que los métodos de congelamiento rápido mediante inmersión en solución salina son particularmente efectivos para mantener la firmeza, el color y los valores nutricionales. **Miao et al. (2019)** realizaron un estudio sobre el impacto del congelamiento rápido en hortalizas y concluyeron que el uso de soluciones de inmersión resultaba en una menor pérdida de nutrientes y mejoraban la apariencia visual. Además, la modelación matemática de estos procesos ha permitido predecir de manera más precisa el comportamiento térmico de los vegetales durante el congelamiento, facilitando la optimización de los parámetros del proceso **(Chang et al., 2023)**.

La investigación sobre la modelación de las cinéticas de congelamiento es un tema aun en desarrollo, pero ha ganado relevancia debido a su potencial para optimizar el uso de energía y mejorar la eficiencia en las líneas de producción **(Rocca et al., 2014)**. El desarrollo de modelos matemáticos que simulan la cinética de enfriamiento en productos de diversa naturaleza, como pescados, mariscos, frutas y hortalizas, ha sido útil para predecir los tiempos y temperaturas ideales de congelamiento, minimizando la pérdida de calidad **(Giannakourou, 2015)**, sin embargo, como se indicó anteriormente las cinéticas reportadas han sido relacionadas con otras técnicas y/o otros productos, En este contexto la presente investigación busca aportar nuevos conocimientos al estudiar la cinética de congelamiento de camarón, atún, uvilla, arándano y brócoli mediante inmersión en diferentes soluciones, lo que permitirá avanzar en la comprensión y optimización de este proceso en la industria alimentaria.

1.1.2. Producción de camarón en Ecuador

La industria camaronera en Ecuador ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, impulsado por la adopción de mejoras en las técnicas de cultivo, la implementación de prácticas sostenibles y la incorporación de sistemas avanzados de monitoreo ambiental, lo que ha mejorado la calidad del producto, consolidando la posición del camarón ecuatoriano en el mercado global **(Taco & Pizarro, 2023).** La especie más consumida a nivel nacional como internacional es el camarón blanco (*Penaeus vannamei*) , como se observa en la **Figura 1**, el cual se produce principalmente en la provincia de El Oro, una región caracterizada por la presencia de esteros y manglares, con una diversidad natural del suelo y una riqueza mineral significativa de sus aguas, factores que contribuyen a la calidad del producto final **(BCE, 2023)**.

En 2023, Ecuador exportó más de 1 millón de TM de camarón congelado mediante técnicas de rápido congelamiento, teniendo valores su res a los USD 7,2 millones **(Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2023)**.



Figura 1. Camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

Fuente: (FAO, 2009).

1.1.3. Producción de atún en Ecuador

Según **BCE (2023),** las costas ecuatorianas son abundantes en biodiversidad marina, particularmente en las provincias de Manabí, Esmeraldas y Santa Elena, siendo los principales centros de producción de atún debido a sus condiciones geográficas favorables y el acceso directo a las corrientes marinas ricas en nutrientes, proporcionando una excelente fuente de atún principalmente la variedad de aleta amarilla (*Thunnus albacares*), como se observa en la **Figura 2.** En 2023, la exportación de atún ultracongelado alcanzó cifras récord, superando las 60 mil TM, y en el primer trimestre del 2024 se registró un incremento del 15% en comparación con el mismo período del año anterior, la sostenibilidad y el cumplimiento de las normativas internacionales fundamentales para mantener la competitividad del atún ecuatoriano en el mercado global y esto se logra gracias a la calidad y su preservación al ser transportado **(Aguirre et al., 2024).**



Figura 2. Atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*).

Fuente: (MCE, 2017).

1.1.4. Producción de arándanos en Ecuador

En el Ecuador, el arándano (*Vaccinium corymbosum*) es un cultivo relativamente nuevo que ha experimentado un crecimiento acelerado, impulsado por la creciente demanda mundial de alimentos saludables y las condiciones climáticas favorables del país que permiten una producción continua a lo largo del año **(FEPEXA, 2021)**. Las provincias de Pichincha, Imbabura y Tungurahua se destacan como las principales zonas productoras de arándanos, gracias a sus altitudes adecuadas y suelos ricos en nutrientes, proporcionando un entorno ideal para este cultivo. En 2023, se exportó más de 12 TM de arándanos, generando ingresos de aproximadamente USD 74 mil, siendo una cifra pequeña en comparación con otros productos de exportación ecuatoriana, pero con un potencial crecimiento **(BCE, 2024)**. Su exportación se realiza principalmente en forma de productos congelados con mediante el método IQF (congelación rápida individual) o frescos refrigerados a temperaturas entre los 4 a 0°C.



Figura 3. Arándano azul (*Vaccinium corymbosum*).

Fuente: (FEPEXA, 2021).

1.1.5. Producción de uvilla en Ecuador

El cultivo de uvilla (*Physalis peruviana*) ha experimentado un notable incremento en las regiones andinas del Ecuador, especialmente en las provincias de Pichincha, Imbabura, Tungurahua y Cotopaxi, donde las condiciones climáticas y altitudes elevadas favorecen su producción. Esta fruta se caracteriza por su alto contenido de vitaminas y antioxidantes, lo que ha despertado el interés de los mercados europeos y estadounidenses **(Agrocalidad, 2019).** Aunque su producción y exportación aún son relativamente limitadas, Ecuador se ha consolidado como uno de los principales proveedores de uvilla a nivel mundial y para el 2023, se exportaron 1200 TM, reflejando el creciente reconocimiento internacional de este producto y su potencial de expansión a nivel mundial **(BCE, 2024)**. Su exportación se realiza mayormente en estado fresco mediante refrigeración a temperaturas de 6 a 2°C durante su transporte.



Figura 4. Uvilla (*Physalis peruviana*).

Fuente: (Agrocalidad, 2016).

1.1.6. Producción de brócoli en Ecuador

El brócoli de cabeza (*Brassica oleracea*) es una de las variedades más demandadas para la exportación en Ecuador, con su producción concentrada en la región Sierra, particularmente en las provincias de Cotopaxi, Imbabura, Pichincha y Chimborazo **(Sánchez et al., 2014)**. En 2023, se exportó más de 80,1 mil TM generando ingresos mayores a USD 157 millones en valor FOB a Japón, Estados Unidos y la Unión Europea **(MAG, 2023)**. Su exportación se realiza principalmente congelado y se realiza un proceso previo de blanqueado y congelación rápida, además de cumplir ciertos estándares de calidad, incluyendo un tamaño de 10 a 15 cm de diámetro y un peso entre 300 a 500 gramos por unidad como se observa en la **Figura 5 (Sánchez et al., 2014)**.



Figura 5. Brócoli (*Brassica oleracea*).

Fuente: (Sánchez et al., 2014).

Al ser todos estos alimentos exportados principalmente congelados, evidentemente es necesario contar con información detallada sobre los parámetros que intervienen en este proceso, para garantizar su competitividad en los mercados internacionales. Por lo que a continuación se describen las características y el debido proceso de congelación destacando su impacto en la conservación de la calidad de los alimentos

1.1.7. Congelación

La congelación en la industria alimenticia es una de las técnicas más efectivas para preservar la seguridad y calidad de los alimentos durante extensos períodos, aplicando temperaturas por debajo de su punto de congelación, disminuyendo el crecimiento microbiano y la actividad enzimática **(Neri et al., 2020).**

La temperatura de congelación para el almacenamiento prolongado de frutas y verduras como el arándano, la uvilla y el brócoli, puede ser a -10°C ya que a esta temperatura no se desarrollan microorganismos. El almacenamiento para productos congelados a temperaturas de -18°C o hasta alcanzar temperaturas menores al centro térmico del alimento, evitando la formación de grandes cristales de hielo que puedan dañar la textura, conservando el color y minimizando la pérdida de nutrientes **(Huo et al., 2023).** La congelación para mariscos como el camarón normalmente se realiza a temperaturas de -25 hasta -30°C, para asegurar el sabor, la textura y frescura, además de inhibir el crecimiento bacteriano. Asimismo, el atún por su alto contenido en grasa se le aplican temperaturas de congelación menores de -40 a -60 °C para prevenir la rancidez oxidativa **(Liu et al., 2024; Ljubej et al., 2021; Neri et al., 2020)**. La formación de los cristales de hielo desempeña un importante papel en el proceso de congelación, como se observa en la **Figura 6**, la orientación de los cristales esta influenciada por la dirección del flujo de calor y la disposición de los conductores térmicos, permitiendo un crecimiento uniforme hacia abajo para obtener una estructura cristalina homogénea evitando la formación de cristales grandes.

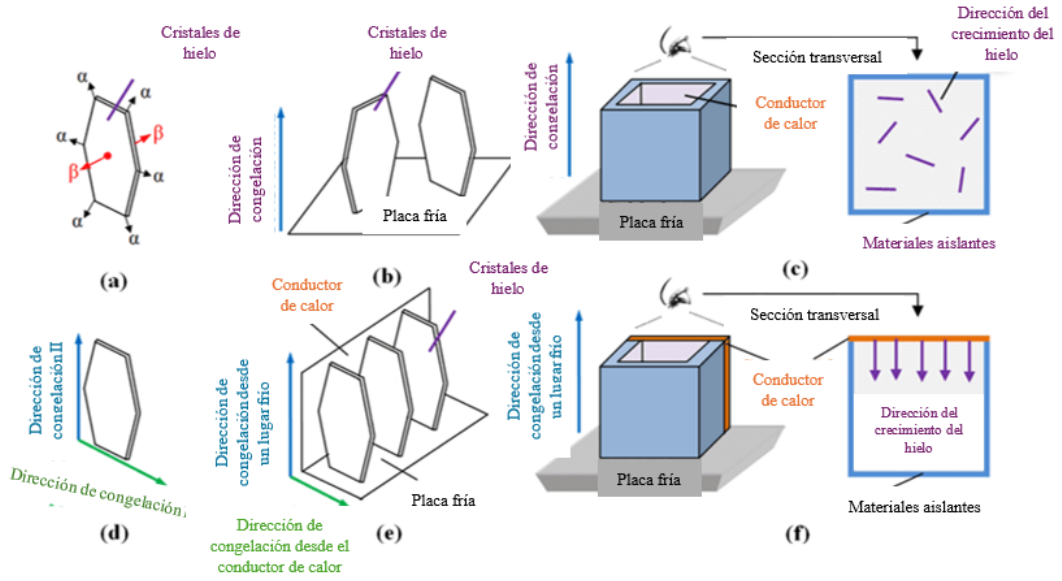


Figura 6. Formación y orientación de cristales de hielo durante un proceso de congelación.

Nota: (a) estructura de cristales de hielo con direcciones α y β; **(b)** formación de cristales de hielo en un plano frío donde la dirección de congelamiento es perpendicular al plano; **(c)** crecimiento de cristales

de hielo en múltiples direcciones en una suspensión de alúmina, utilizando materiales aislantes; **(d)** dos direcciones de congelamiento (I y II); **(e)** formación de cristales de hielo con doble fuente de enfriamiento; **(f)** sección transversal donde el crecimiento de cristales de hielo es unidireccional. Adaptado de **Singh & Heldman (2014)**.

1.1.7.1. Etapas de congelación

Según **Dincer (2019)**, la congelación implica la reducción de temperatura transformando el agua en hielo, este proceso se compone de variables térmicas y cinéticas que contemplan diferentes etapas para obtener un producto de calidad, como se observa en la **Figura 7**.

1. Enfriamiento inicial: su principal objetivo es disminuir la temperatura del producto hasta que llegue al inicio de cambio de fase.
2. Formación de núcleos: es el proceso en el que comienza la formación de pequeños cristales de hielo dentro del alimento, sin que llegue a congelarse.
3. Cambio de fase: en esta etapa el agua que contiene el alimento se transforma a sólido, llegando a la estabilidad térmica e iniciando la congelación.
4. Templado: se produce cuando el alimento alcanza una temperatura desde los -10°C hasta los -18 °C o inferior, siendo óptima para la conservación.

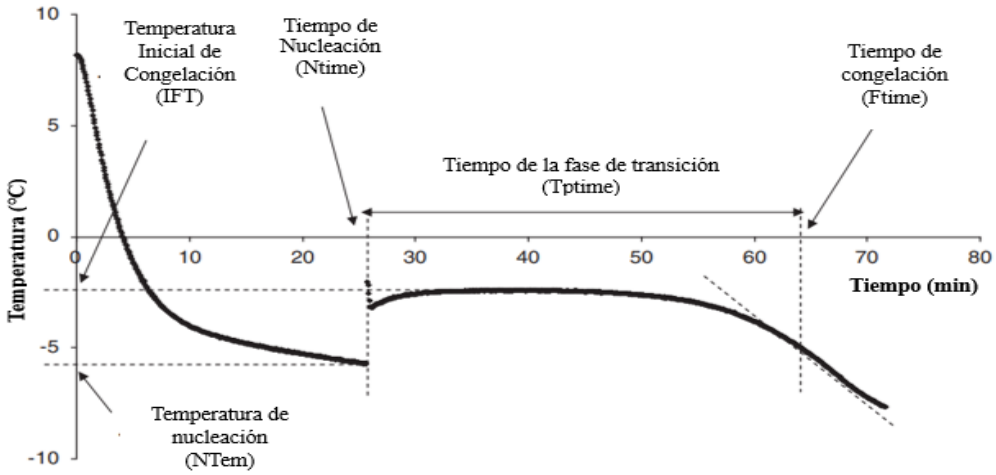


Figura 7. Curva de congelación.

Nota: La gráfica muestra el perfil típico de temperatura frente al tiempo durante el proceso de congelación de un alimento. En el eje vertical se representa la temperatura (°C), mientras que el eje horizontal indica el tiempo (minutos). Adaptado de **Comandini et al. (2013)**.

1.1.7.2. Velocidad de congelación

La velocidad de congelación es un factor importante para determinar la calidad del alimento congelado, ya que un cambio rápido de temperatura garantiza que la estructura original se mantenga pequeños, por otro lado, si se realiza una congelación lenta se forman cristales grandes que pueden llegar a romper las células, causando pérdidas de textura y exudado al descongelarse como se observa en la **Figura 8**, por lo tanto, la calidad del producto dependerá directamente de la velocidad a la que se retire el calor latente de fusión **(Beltrán et al., 2021)**.

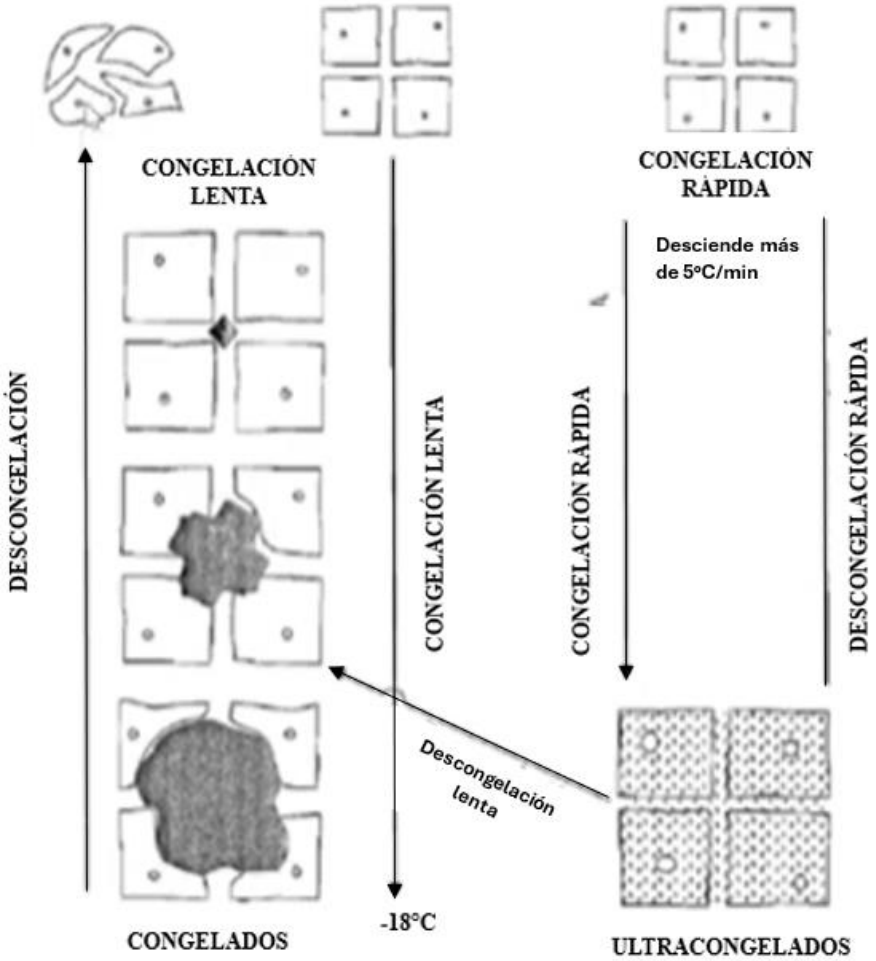


Figura 8. Proceso de congelación.

Nota: La grafica muestra los efectos de dos procesos distintos de congelación, congelación lenta y congelación rápida, en la estructura celular de un alimento, así como las implicaciones de cada proceso durante la descongelación. Adaptado de **Kumar et al. (2022)**.

1.1.7.3. Temperatura de conservación

Según la normativa de conservación de alimentos **ARCSA (2015)**, los productos congelados pueden mantenerse sin la necesidad de conservantes adicionales, ya que las temperaturas por debajo de −9,5 °C (15 °F) impiden la proliferación de microorganismos, evitando así el deterioro de los alimentos. Para asegurar una conservación prolongada, es posible que se requiera almacenar los alimentos a temperaturas aún menores **(Rahman & Velez, 2007)**.

1.1.8. Congelación por inmersión

Según **Miao et al. (2019)**, en la industria alimentaria la congelación por inmersión es una técnica que consiste en sumergir alimentos en soluciones refrigerantes como el cloruro de sodio, el etilenglicol o propilenglicol para obtener una congelación uniforme y utilizadas para congelar alimentos empacados y con formas irregulares o muy pequeñas ya que el líquido refrigerante envuelve completamente al producto asegurando una transferencia de calor eficiente. Esta técnica suele congelar a temperaturas entre -20°C y -50°C y en intervalos de tiempo cortos (entre 5 minutos a 2 horas) dependiendo de la solución ocupada o por el tipo de alimento **(Chang et al., 2023)**. Según **Holden et al. (2021)**, la congelación por inmersión a -10°C es un método efectivo para la conservación de la textura y el sabor de productos alimenticios. Además, este método ha sido optimizado en los últimos años mediante el desarrollo de nuevos refrigerantes que mejoran la uniformidad del proceso y reducen el tiempo para alcanzar la temperatura deseada **(James et al., 2014)**.

1.1.8.1. Soluciones refrigerantes

Las soluciones refrigerantes son líquidos utilizados para enfriar y congelar alimentos de manera eficiente y rápida, normalmente estas soluciones son mezclas de agua y sustancias criogénicas, como soluciones salinas o etilenglicol, las cuales permiten bajar la temperatura a niveles extremadamente bajos **(Li et al., 2022).** Algunas de las soluciones más usadas son:

1. Cloruro de sodio: esta solución es utilizada para reducir la temperatura de congelación, ya que la sal reduce el punto de congelación del agua a temperaturas inferiores a 0°C, teniendo una rápida congelación con formaciones de cristales más pequeños, minimizando el daño celular en alimentos y es utilizado para productos agrícolas como frutas y verduras con una concentración del 10–15% **(Bhardwaj et al., 2024)**.
2. Solución de sacarosa: ayuda a prevenir la formación de cristales grandes, siendo beneficioso para mantener la textura y calidad de los alimentos, se utiliza especialmente para congelar frutas o

productos que se puedan volver blandos si tienen una congelación lenta, a esta solución normalmente se la utiliza en concentraciones del 30-35% **(Neri et al., 2020)**.

3. Etilenglicol: esta solución tiene un punto de congelación más baja que el agua, provocando que se mantenga líquida a temperaturas muy bajas de -10°C a -40°C, evitando la formación de grandes cristales de hielo y es utilizada en la congelación rápida de alimentos procesados delicados y que no tengan directa exposición o consten de un empaque, que requieran de una congelación a temperaturas extremadamente bajas, y se utiliza en concentraciones de entre 25- 35% para alcanzar temperaturas de -10°C a -20°C **(Liu et al., 2020)**.

1.1.8.2. Tiempo de congelación

Falconí (2024), menciona que el tiempo de congelación es crucial en la calidad del alimento congelado, ya que un tiempo de congelación corto reduce el riesgo de afectar las estructuras de los alimentos, además de acorta el tiempo donde se podría desarrollar actividad enzimática residual **(Chang et al., 2023)**. **Kanoglu et al. (2019)** mencionan que existen varios factores que influyen sobre el tiempo de congelación y estos dependen principalmente de la naturaleza de los alimentos y las condiciones del equipo de congelación, por lo tanto, para poder determinar el tiempo de congelación se utilizan modelos matemáticos detallados a continuación en la **Tabla 1.**

1.1.9. Modelo matemático de la cinética de congelación

La cinética de congelación se refiere a la tasa y el patrón con los que se extrae el calor de un alimento, lo cual está estrechamente relacionado con la formación de cristales de hielo y, por ende, con la calidad final del producto. Los modelos matemáticos permiten simular este proceso, proporcionando una herramienta valiosa para optimizar las condiciones de congelación en función de diferentes variables, como la temperatura, el tiempo, y las propiedades físicas del alimento **(Sun & Delgado, 2010)**. Estos modelos son fundamentales en la industria alimentaria, ya que ayudan a mejorar la eficiencia del proceso de congelación, lo que minimiza los daños en la estructura celular de los productos, asegurando su valor nutritivo y textural **(Zhmakin, 2009)**. Al aplicar un modelo matemático a la cinética de congelación, se pueden prever los cambios que ocurren dentro del alimento y ajustar los parámetros del proceso para maximizar la calidad del producto final **(Wang et al., 2023)**.

Tabla 1.

Modelos matemáticos para modelamiento de cinéticas de congelación

Modelo	Ecuación	Fuente
Analítico (Ecuaciones de conducción de calor)	$Bi = \frac{h * Lc}{k}$ $Fo = \frac{\alpha t}{Lc^2}$ $\theta^* = \frac{T_{(\vec{r},t)} - T_\infty}{T_i - T_\infty}$ $\theta^* = C_1 e(-\zeta_1^2 * Fo$	**(Kanoglu et al., 2019).**
Planck	$t_f = \frac{\lambda \rho}{T_F - T_M}\left[\frac{PL}{h} + \frac{RL^2}{k}\right]$ $L_f = m_m L$	**(Kanoglu et al., 2019)**.
Pham	$t = \frac{d_c}{E_f h} * \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2}\right]\left(1 + \frac{N_{Bi}}{2}\right)$ $\Delta H_1 = \rho_u c_u * (T_i - T_{fm})$ $\Delta H_2 = \rho_f[L_f + c_f(T_{fm} - T_c)]$ $\Delta T_1 = \left(\frac{T_i + T_{fm}}{2}\right) - T_a$ $\Delta T_2 = T_{fm} - T_a$ $T_{fm} = 1.8 + 0{,}263\, T_c + 0{,}105\, T_a$	**(Pham, 1986)**.

Nota: Ecuaciones utilizadas para modelamiento de cinéticas de congelación en matrices alimentarias.

Donde las unidades y abreviaturas se muestras en la **Tabla 2**:

Tabla 2.

Unidades y factores de conversión

Abreviatura	Magnitud básica	Unidad de medida (SI)
α	difusividad termica	$\frac{m^2}{s}$
L_f	calor latente del alimento	$\frac{kJ}{kg}$
T_f	temperatura de congelacion	°C
T_a	temperatura del medio de congelacion	°C
T_i	temperatura inicial del alimento	°C
T_{fm}	temperatura media de congelación	°C
T_c	temperatura final en el centro	°C

h	coeficiente de transferencia de calor por convección	$\frac{W}{m^2\ K}$
a	espesor o diametro del alimento	m
$\mathbf{d_c}$	menor distancia del centro térmico a la superficie del objeto	m
$\mathbf{L_c}$	longuitud caracteristica	m
$\mathbf{k_f}$	conductividad térmica del producto congelado	$\frac{W}{m\ °C}$
k	conductividad termica	$\frac{W}{m\ K}$
L	calor latente de fusion de agua	$\frac{kJ}{kg\ K}$
$\mathbf{c_u}$	**c**alor específico descongelado	$\frac{kJ}{kg\ K}$
$\mathbf{c_f}$	**c**alor específico congelado	$\frac{kJ}{kg\ K}$
ΔH1 & **ΔH2**	cambio entalpico volumetrico	$\frac{J}{m^3}$
$\boldsymbol{\rho_f}$	densidad del producto congelado	$\frac{kg}{m^3}$
$\boldsymbol{\rho_u}$	densidad del producto descongelado	$\frac{kg}{m^3}$
t	tiempo	**s**
P′ & **R′**	constantes según la geometría del producto	-
$\mathbf{m_m}$	contenido de agua (fracción)	-
$\mathbf{E_f}$	factor de forma según la geometría del producto	-
ΔT1 & **ΔT2**	gradientes de temperatura	-
Bi	número de Biot	-
Fo	número de Fourier	-
$\boldsymbol{\theta^*}$	temperatura adimensional	-

Nota: La Tabla 2 presenta las magnitudes, unidades de medida y factores de conversión relacionados con los parámetros térmicos y físicos utilizados en la modelación de procesos de congelación de alimentos obtenida de **Kanoglu et al. (2019)**.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Modelar las cinéticas de congelamiento por inmersión en diferentes soluciones para camarón, atún, uvilla, brócoli, arándanos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar experimentalmente tiempos de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a bajas temperaturas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión en diferentes soluciones.
- Obtener experimentalmente la cinética del proceso de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a bajas temperaturas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión en diferentes soluciones.
- Evaluar el ajuste de los datos experimentales de la cinética del proceso de congelamiento por inmersión con modelos matemáticos y fenomenológicos.

CAPÍTULO II.
METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. Para la realización de la siguiente investigación se utilizaron las siguientes materias primas, reactivos, equipos y materiales detallados en la **Tabla 3**:

Tabla 3.
Recursos materiales

Materia prima
Arándano (Vaccinium corymbosum)
Atún (Thunnus albacares)
Brócoli (Brassica oleracea)
Camarón (Penaes vannamei)
Uvilla (Physalis peruviana)
Equipo
Recirculador refrigerado
Materiales
Balanza analítica
Pie de rey
Termopar
Balanza de humedad
pH-metro
Soxhlet

Desecador
Estufa
Balanza infrarroja
Balanza analítica
Mufla
Materiales tecnológicos
Laptop
Tarjeta de adquisición de datos

2.2. Métodos

2.2.1. Diseño Experimental

La materia prima como el camarón, atún, arándanos, uvilla y brócoli se obtuvieron del Mercado Central de Ambato, en la provincia de Tungurahua, los cuales se analizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

2.2.2. Preparación de muestras

Se realizó según lo detallado en **(NTE INEN 1751, 2013; NTE INEN 2104, 2013)**; con algunas modificaciones, procurando cumplir con los siguientes parámetros:

1. Uniformidad: Se establecieron características geométricas y tamaños similares para cada tipo de alimento.
2. Clasificación: Se seleccionaron los productos con buena apariencia, eliminando manualmente partículas o residuos extraños para evitar cualquier contaminación o impurezas (cáscaras, tallos, hojas, pieles, espinas).
3. Limpieza y corte: Se lavó cada producto alimenticio, en el caso del atún se realizaron cortes rectos para formar 3 filetes rectangulares y planos (de aproximadamente 5 cm de largo x 4 cm de ancho cada uno) para obtener una geometría simétrica **(Zhao et al., 2024)**.
4. Remoción del exceso de humedad: En esta etapa, se eliminó el exceso de agua de cada producto hasta que estuvieron libres de humedad superficial antes de la congelación, con un paño absorbente.

2.2.3. Caracterización proximal de las muestras

Las muestras de camarón, atún, uvilla, arándano y brócoli se caracterizaron usando los métodos analíticos de la AOAC, Ed 21. Para la determinación del porcentaje de humedad, se empleó el método (1934.01); y para la determinación de cenizas, se aplicará el método (924.25) mediante la utilización de la mufla. En el caso de los carbohidratos (azúcares) de la uvilla y el arándano se utilizó un brixómetro (ATAGO, PAL-1, Tokio, Tokio, Japón), según en método (997.08) donde se vertió de 1 a 2 gotas del zumos de cada fruta.

Para la determinación de proteínas, fibra cruda y grasas, se contrató el servicio del Laboratorio de Control y análisis de Alimentos (LACONAL), donde realizaron los análisis correspondientes a cada matriz alimentaria. En dicho laboratorio para determinar la proteína utilizaron la técnica de Kjeldhal (método AOAC 991.2. Ed.22,2023), el porcentaje de grasa se determinó gravimétricamente (método AOAC Ed. 22, 2023 2003.06); y el porcentaje de fibra cruda mediante (INEN 522).

2.2.4. Determinación experimentalmente de tiempos de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a bajas temperaturas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión en diferentes soluciones.

Una vez completado el proceso de preparación para todas las matrices alimenticias, se realizó una adaptación del proceso detallado en **Li et al. (2022)**. Se uso un recirculador refrigerado (Thermo Fisher Scientific, ARCTIC A10, Wilmington, Delaware, Estados Unidos) se configuró hasta que la solución refrigerante (solución de sacarosa con una concentración del 40% para la uvilla y el arándano y cloruro de sodio con una concentración del 15% para el camarón, el atún y el brócoli) alcanzó la temperatura de -10°C. Las muestras se sumergieron en cada solución refrigerante con un termopar en el centro del alimento, asegurándose de que estén completamente cubiertas hasta alcanzar la temperatura de congelación de entre -9,5 a -10°C. Durante el proceso, la temperatura y el tiempo se registraron utilizando un multímetro digital con registro de datos (Fluke, 189, Everett, Washington, Estados Unidos), acoplado con termopares tipo K. Finalmente, cuando se alcanzó la temperatura deseada de congelación, se retirarán las muestras de la solución refrigerante, todo esto se realizó por duplicado.

2.2.5. Obtención experimental de la cinética del proceso de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a bajas temperaturas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión.

2.2.5.1. Construcción de la curva en la cinética de congelación

Una vez finalizado el proceso de congelación y obtenidos los datos de temperatura en intervalos regulares desde la inmersión hasta que la muestra alcanzó la temperatura de congelación entre -9,5 a -10°C. Los datos recolectados se analizaron mediante Excel y software (Python PSF) para evaluar la velocidad de enfriamiento durante la congelación en diferentes intervalos de tiempo, después se construyeron las curvas de congelamiento en relación con el tiempo y la temperatura **(Tsironi et al., 2020)**, considerando la temperatura (en el eje y) y el tiempo (eje x). La curva obtenida permitió evidenciar la variación de la temperatura en diferentes fases: inicial, estabilidad, nucleación y cristalización del agua en el alimento. Finalmente, se observó un punto de inflexión en la curva, donde hay un descenso en la velocidad de la temperatura indicando el inicio de formación de cristales a los 0°C **(Beltrán et al., 2021)**.

2.2.6. Evaluación del ajuste de los datos experimentales de la cinética del proceso de congelamiento por inmersión con modelos matemáticos y fenomenológicos

2.2.6.1. Análisis comparativo

Se realizó por duplicado la toma de lectura de tiempo y temperatura para cada producto y se estimaron los promedio y las desviaciones estándar para todos los resultados obtenidos en la evaluación de la curva de congelación mediante inmersión de los productos mencionados. Para determinación de la significancia de las diferencias entre las medias, se emplearon análisis de varianza (one way ANOVA), seguido por la prueba de Tukey para comparaciones múltiples de medias, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó utilizando el software Python, versión 3,12 (Python Software Foundation, Wilmington, Delaware, Estados Unidos). La precisión de los modelos predictivos será evaluará mediante el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio (RMSE), y el error medio sesgado (MBE). Este enfoque permitió evaluar las diferencias significativas en la cinética de congelación entre los diferentes alimentos y asegurando la fiabilidad de los modelos predictivos utilizados en el análisis.

CAPÍTULO III.
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recopilaron datos experimentales y teóricos con el propósito de desarrollar cinéticas de congelación mediante el método de enfriamiento por inmersión, permitiendo determinar los tiempos de congelación para diferentes productos alimenticios (uvilla, arándano, brócoli, camarón y atún). A continuación, se detallan los resultados obtenidos y la discusión.

3.1. Caracterización proximal

Después de la preparación de las muestras de cada materia prima (uvilla, arándano, brócoli, camarón y atún), se determinaron mediante métodos AOAC 2023, los valores de la composición química como se observa en la **Tabla 4**. En cuanto a los porcentajes de humedad, los valores más altos se registraron en el brócoli (90,06%), la uvilla (85,95%) y los arándanos (85,90%), lo que indica que son productos con un alto contenido de agua, siendo crucial al considerar los procesos de congelación, ya que influye directamente en la formación y orientación de cristales de hielo. En contraste con el atún (71,91%) y el camarón (79,95) que presentan menor contenido de humedad, lo que refleja una mayor densidad por la cantidad de nutrientes sólidos.

En cuanto al contenido proteico, el atún (23,43%) y el camarón (16,7%) destacaron como fuentes ricas en proteínas, alineándose con su valor nutricional en dietas basadas en productos de origen marino (NTE INEN 1338, 2013). Por otro lado, el análisis de carbohidratos resalta que los arándanos (12,68%) y la uvilla (10%) poseen un contenido elevado en comparación con el brócoli (4,84%), el camarón (2%) y el atún (2,1%). Estos resultados son consistentes con la naturaleza de los arándanos y la uvilla como frutos ricos en azúcares y compuestos energéticos, mientras que los productos marinos se caracterizan por un bajo aporte de carbohidratos estando dentro del rango permitido por las normas **(NTE INEN 2104, 2013)**.

En lo referente al contenido de grasa, tanto el camarón como el atún presentaron valores superiores (0,52% y 1,48%, respectivamente) frente a las otras materias primas, lo cual es típico de productos de origen animal. En contraste, los arándanos (0,04%) y el brócoli (0,32%) mostraron niveles de grasa extremadamente bajos

Finalmente, los valores de fibra con el método AOAC (2023) fueron más altos en la uvilla (1,25%), brócoli (0,64%) y arándanos (0,23%), evidenciando su relevancia en dietas que promuevan la salud digestiva.

Tabla 4.

Composición química de la uvilla, arándanos, brócoli, camarón y atún

Materia prima	Humedad %	Proteínas %	Grasa %	Cenizas %	Fibra %	Carbohidratos %
Uvilla	85,95	1,88	0,31	0,23	1,25	10
Arándanos	85,90	0,94	0,04	0,21	0,23	12,68
Brócoli	90,06	2,65	0,32	0,96	0,64	4,84
Camarón	79,95	16,7	0,52	0,83	0	2
Atún	71,91	23,43	1,48	1,08	0	2,10

Nota. Composición química de alimentos agroalimentarios frescos.

3.2. Determinación de las propiedades físicas y térmicas para uvilla y arándano

En la **Tabla 5** se presentan las magnitudes analizadas incluyen temperaturas iniciales, densidades, capacidades caloríficas, conductividades térmicas y coeficientes de transferencia de calor, tanto en estado fresco y congelado, lo cual permite evaluar de manera precisa el comportamiento térmico durante el proceso de enfriamiento, mediante las ecuaciones de Choi&Okos.

3.2.1. Temperaturas iniciales y de congelación

Las temperaturas iniciales (23,7°C para la uvilla y 24,05°C para el arándano) son consistentes con su naturaleza como productos frescos, que suelen mantenerse a temperatura ambiente antes del proceso. En cuanto a las temperaturas de inicio de congelación se asume (T_f) de -1,1°C y -1,15°C, respectivamente en una inmersión de solución de sacarosa, los valores corresponden a los rangos reportados en frutas de alta humedad, donde el contenido de solutos reduce el punto de congelación ligeramente por debajo de los 0°C. Esto coincide con investigaciones previas, de alimentos con similares características como se menciona en **Montes et al. (2006)** quienes reportaron temperaturas similares en productos con alta proporción de azúcares y humedad.

3.2.2. Propiedades físicas y térmicas

La densidad sin congelación (ρ_u) de la uvilla (1053,475 kg/m³) y del arándano (1049,357 kg/m³) refleja un contenido elevado de agua y solutos, mientras que la densidad congelada (ρ_f) muestra una reducción al pasar a estado sólido, un comportamiento típico debido a la expansión del agua al convertirse en hielo. Estos valores son comparables a los reportados en estudios sobre frutas tropicales congeladas,

como los reportados en **Machado & Vélez (2008)**, donde los productos frutales presentaron densidades similares bajo condiciones experimentales en las mismas condiciones.

En términos de capacidad calorífica específica (C_u), los valores sin congelar (3,82 kJ/(kg·°C) para la uvilla y 3,81 kJ/(kg·°C) para el arándano) disminuyen considerablemente en estado congelado (1,99 kJ/(kg·°C) y en la uvilla (1,97 kJ/(kg·°C)). Este cambio es consistente con la literatura científica, ya que el agua en estado sólido tiene una menor capacidad para almacenar energía térmica comparada con el estado líquido.

3.2.3. Propiedades térmicas de la uvilla y el arándano.

La conductividad térmica sin congelación (k_u) de 0,571 W/(m·°C) para la uvilla y 0,576 W/(m·°C) para el arándano es baja, lo cual es esperado en frutas ricas en agua. Al congelarse, la conductividad térmica (k_f) aumenta significativamente, alcanzando valores de (2,066 W/(m·°C) y el arándano (2,167 W/(m·°C). Este comportamiento ha sido previamente explicado por Singh (2014) quien menciona que el hielo conduce mejor el calor que el agua, mejorando la transferencia térmica durante la congelación.

La difusividad térmica sin congelación (α_u) y congelada (α_f) también muestran una tendencia esperada, ya que los valores aumentan notablemente en el estado congelado debido al incremento en la conductividad térmica y la disminución de la capacidad calorífica. Los coeficientes de transferencia de calor por convección (h) de 86 W/(m²·°C) para la uvilla y 78 W/(m²·°C), como se observa en el anexo 7 para el arándano indican una transferencia de calor eficiente en las condiciones experimentales, valores que coinciden con estudios de procesos de congelación en soluciones salinas **(Cárdenas, 2012)**.

En general, los resultados obtenidos mediante el modelo de Choi-Okos son congruentes con investigaciones previas. Estudios realizados por **Sulla (2016)**, sobre productos agrícolas congelados han demostrado que las propiedades térmicas dependen significativamente de la composición y estructura celular de los productos. Además, las diferencias en los valores experimentales y calculados son mínimas, indicando que este modelo es altamente confiable para predecir propiedades térmicas en alimentos de alta humedad.

Tabla 5.

Valores de propiedades físicas y térmicas calculadas y experimentales para uvilla y arándano en solución de sacarosa al 35%

Magnitudes	**Materia prima**		**Unidades**
	Uvilla	**Arándano**	**(SI)**
Temperatura inicial (T_i)	23,7	24,05	**°C**
Temperatura inicial de congelación (T_f)	-1,1	-1,15	**°C**

Temperatura final de congelación (T_c)	-9,7	-9.6	**°C**
Diámetro (a)	0,017	0,018	**m**
Densidad sin congelación (ρ_u)	1053,47	1049,35	$\frac{kg}{m^3}$
Densidad congelada (ρ_f)	973,67	980,01	$\frac{kg}{m^3}$
Calor especifico sin congelación (C_u)	3,826	3,81	$\frac{kJ}{kg \cdot °C}$
Calor especifico congelado (C_f)	1,995	1,97	$\frac{kJ}{kg \cdot °C}$
Conductividad térmica sin congelación (k_u)	0,571	0,57	$\frac{W}{m \cdot °C}$
Conductividad térmica congelada (k_f)	2,06	2,16	$\frac{W}{m \cdot °C}$
Difusividad térmica sin congelación (α_u)	0,13	0,13	$\frac{m^2}{s}$
Difusividad térmica congelada (α_f)	1,11	1,11	$\frac{m^2}{s}$
Coeficiente de transferencia de calor por convección (h)	86	78	$\frac{W}{m^2 \cdot °C}$

Nota: Propiedades físicas y térmicas de la uvilla y el arándano, obtenidas experimentalmente y mediante el modelo de CHOI-OKOS.

3.2.4. Cinéticas y curvas de congelación para uvilla y arándano

En la **Figura 9** se muestra la evolución de la temperatura en función al tiempo durante un proceso de refrigeración por inmersión en un recirculador refrigerado (Thermo Fisher Scientific, ARCTIC A10, Wilmington, Delaware, Estados Unidos) configurado a -10°C, mediante una solución de sacarosa para uvilla y arándano. En ambas curvas, se observa una rápida disminución de la temperatura y al alcanzar la temperatura de -1,15°C se observa una estabilización. La uvilla tiene un tiempo de congelación menor (13,15 min) en comparación al arándano (19,51 min) como se observa en la **Tabla 6**, esto se puede deber a la diferencia de tamaños, composición química, la variación en las propiedades térmicas y la densidad **(Rocca et al., 2014)**.

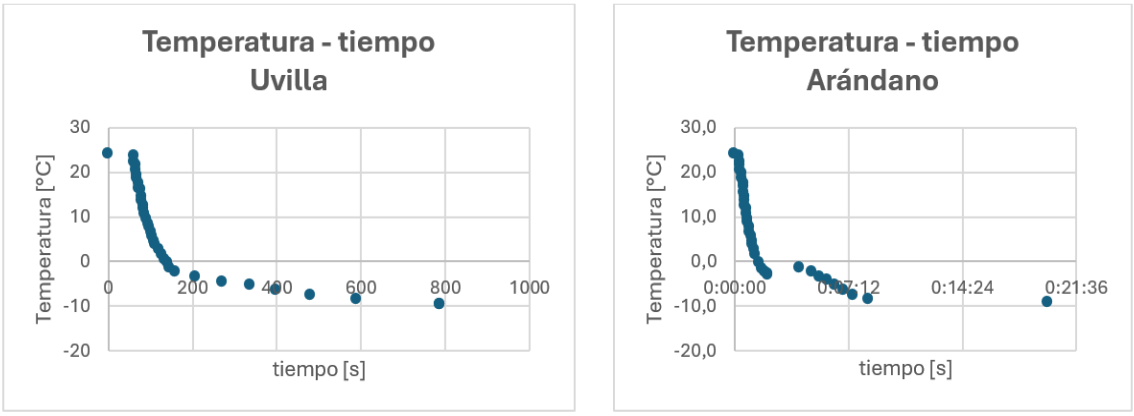


Figura 9. Curvas de enfriamiento por inmersión: Temperatura vs Tiempo para uvilla y arándano**.**

Las cinéticas de congelación muestra el modelo ajustado a los datos experimentales lo que permite observar la velocidad de congelación, tanto para el arándano y la uvilla existen gran diferencias en la curva, debido a su composición, como se observa en la **Figura 10**, el coeficiente de determinación (R^2) evalúa el ajuste de los datos experimentales del modelo, proporcionando para la uvilla un R^2 de 0,37, mientras que el arándano tiene un R^2 de 0,26, lo que indica un ajuste bajo en ambos casos. Estas diferencias reflejan variaciones en las propiedades térmicas y estructurales entre los dos productos, siendo factores clave en la dinámica del proceso de congelación. Modelo de Pham, aunque incluye propiedades del alimento congelado y no congelado, no logra describir de forma adecuada el proceso de congelamiento.

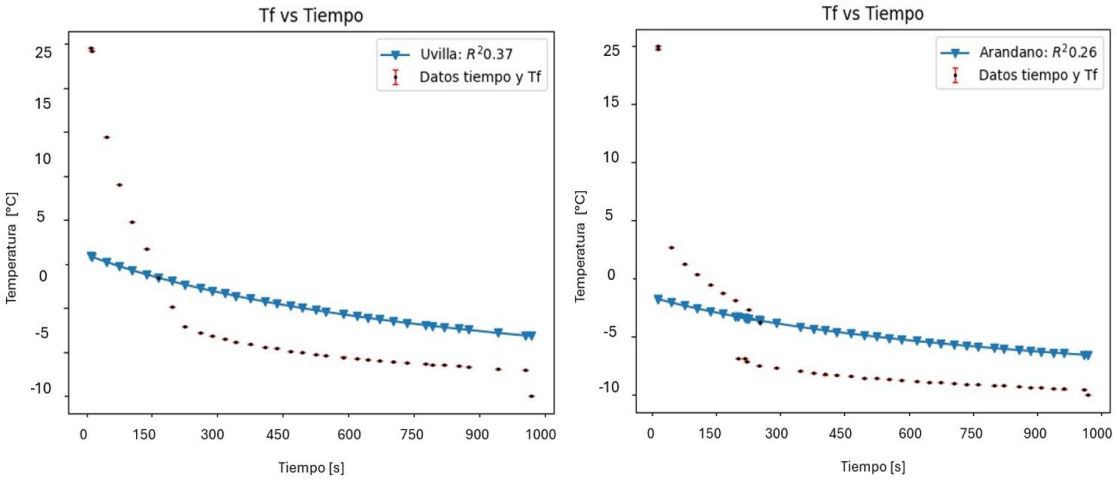


Figura 10. Cinéticas de congelación entre Temperatura final (Tf) y Tiempo durante congelación por inmersión para uvilla y arándano.

La modelación de cinéticas de congelamiento resulta fundamental para el diseño de procesos eficientes y para asegurar la calidad final de productos como la uvilla y el arándano. Aunque los modelos tradicionales (Plank y Pham) ofrecen estimaciones útiles, los modelos específicos basados en cinéticas

muestran un mayor ajuste a los datos experimentales y son herramientas clave para optimizar el proceso de congelamiento. Esto permite una mejor predicción del tiempo y energía necesarios, así como una mayor preservación de las características sensoriales y nutricionales de los alimentos.

Tabla 6.

Valores de la determinación del tiempo de congelación, calculadas, experimentales y cinéticas de la uvilla y arándano a temperatura de -9.65°C

		Uvilla	Arándano	Unidades (SI)
Tiempo obtenido experimentalmente		13,15	19,51	min
Cálculos	Plank	18,31	24,46	min
	Pham	21,54	28,39	min
	Biot	16,63	19,97	min

Nota: Valores de la determinación del tiempo de congelación mediante la media de dos réplicas.

3.2.5. Determinación de las propiedades físicas y térmicas para brócoli, camarón, atún.

Los resultados obtenidos en las **Tablas 7 y 8** confirman que existe efectividad en el método de congelación por inmersión, siendo uno de los principales beneficios de este sistema es la rápida transferencia de calor entre el alimento y el medio refrigerante, gracias a la alta conductividad térmica de la solución salina **(Pham, 1986)** En este caso, el coeficiente de transferencia de calor por convección (h) fue mayor en el atún (122 W/(m^2·°C), seguido del camarón (106 W/(m^2·°C) y del brócoli (96 W/(m^2·°C) indicando una alta eficiencia térmica en la congelación de productos ricos en agua y con formas irregulares. En cuanto a las propiedades físicas y térmicas, los valores de densidad, calor específico y conductividad térmica en estado congelado son consistentes con la literatura, indicando que la solución salina penetra de manera uniforme en los alimentos, favoreciendo una congelación más rápida y homogénea **(Rahman & Velez, 2007)**.

Tabla 7.

Valores de propiedades físicas y térmicas calculadas y experimentales para brócoli, camarón y atún en solución de salina al 15%

Magnitudes	**Materia prima**			**Unidades**
	Brócoli	**Camarón**	**Atún**	**(SI)**
Temperatura inicial (T_i)	21,8	17,7	22,7	**°C**

Temperatura inicial de congelación (T_f)	-1,3	-1,05	-1,1	**°C**
Temperatura final de congelación (T_c)	-9,7	-9,7	-9,65	**°C**
Longitud característica (L_c)	0,045	0,041	0,049	**m**
Densidad sin congelación (ρ_u)	1049,767	1044,806	1061,195	$\frac{kg}{m^3}$
Densidad congelada (ρ_u)	958,839	1022,441	1016,311	$\frac{kg}{m^3}$
Calor especifico sin congelación (C_u)	3,816	3,729	3,556	$\frac{kJ}{kg \cdot °C}$
Calor especifico congelado (C_f)	2,128	2,005	2,195	$\frac{kJ}{kg \cdot °C}$
Conductividad térmica sin congelación (k_u)	0,571	0,538	0,516	$\frac{W}{m \cdot °C}$
Conductividad térmica congelada (k_f)	2,045	1,927	1,669	$\frac{W}{m \cdot °C}$
Difusividad térmica sin congelación (α_u)	0,136	0,130	0,127	$\frac{m^2}{s}$
Difusividad térmica congelada (α_f)	1,099	1,003	0,884	$\frac{m^2}{s}$
Coeficiente de transferencia de calor por convección (h)	96	106	122	$\frac{W}{m^2 \cdot °C}$

Nota: Propiedades físicas y térmicas del brócoli, camarón y atún, obtenidas experimentalmente y mediante el modelo de CHOI-OKOS.

3.2.6. Cinéticas y curvas de congelación para uvilla y arándano

La curva de enfriamiento del brócoli presenta una disminución rápida de la temperatura en los primeros 13,08 min, seguida de una disminución más lenta. Esto sugiere que el brócoli tiene una alta conductividad térmica, lo que facilita la transferencia de calor desde el centro del producto hacia la superficie. La curva del camarón muestra una disminución más lenta (19,51 min) de la temperatura en comparación con el brócoli. Esto puede deberse a varios factores, como un menor contenido de agua, una mayor proporción de grasa o una forma geométrica más compleja. Por otro lado, el atún es el que tiene mayor tiempo (21,40 min) de congelación debido a su composición.

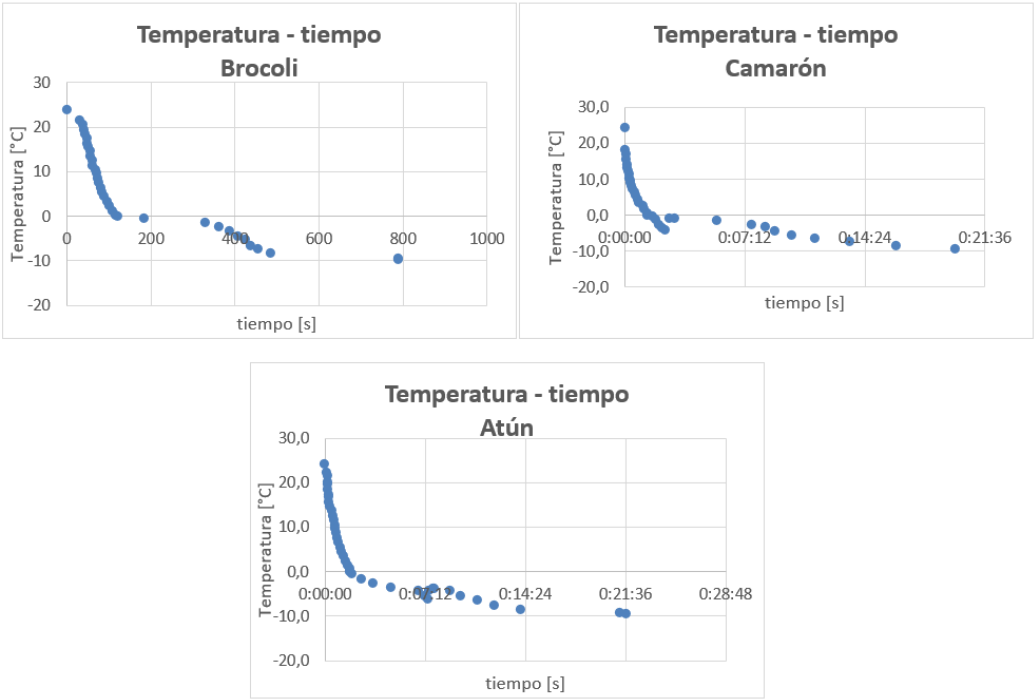


Figura 11. Curvas de enfriamiento por inmersión: Temperatura vs Tiempo para brócoli, camarón y atún.

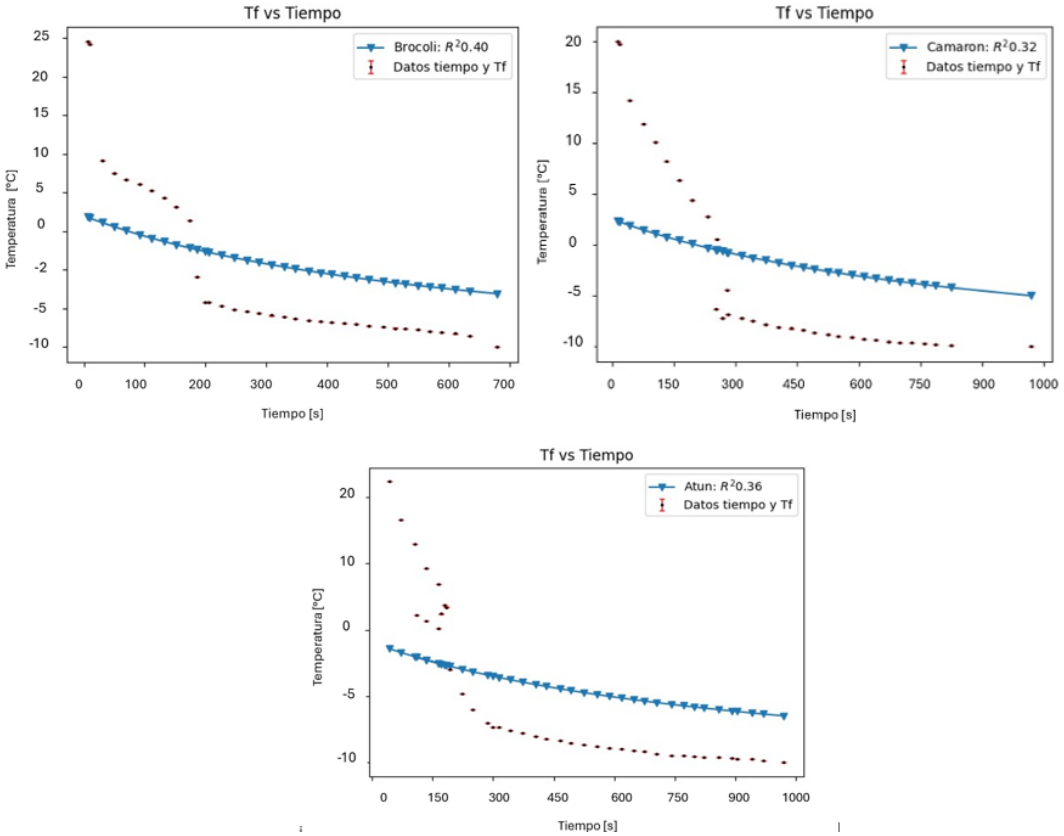


Figura 12. Cinéticas de congelación entre Temperatura final (Tf) y Tiempo durante congelación por inmersión para brócoli, camarón y atún.

El análisis de los tiempos de congelación mostró resultados experimentales cercanos a los modelos teóricos, especialmente con el modelo de Pham, que presentó desviaciones menores al 20% en todos los productos. El camarón tiene un tiempo experimental de 19,82 minutos, mientras que el modelo de Plank predijo 21,80 minutos (**Tabla 8**). Esto demuestra que el modelo puede usarse como una herramienta predictiva para diseñar procesos de congelación industrial. El método de congelación por inmersión también presenta limitaciones, siendo una de las principales desventajas es la mayor presencia de cristales de hielo grandes en los productos con tiempos de congelación más prolongados, como se observó en el atún, que presentó un tiempo experimental de 21,40 minutos. Este fenómeno puede generar daños en las células, afectando la textura y reduciendo la calidad del producto tras la descongelación **(Cárdenas, 2012).**

Tabla 8.

Valores de la determinación del tiempo de congelación, calculadas, experimentales y cinéticas del brócoli, camarón y atún a temperatura de -9.7

		Brócoli	**Camarón**	**Atún**	**Unidades (SI)**
Tiempo obtenido experimentalmente		13,08	19,51	21,40	min
Cálculos	**Plank**	16,61	21,80	21,54	min
	Pham	19,82	26,58	23,74	min
	Biot	18,91	25,98	22,11	min

Nota: Valores de la determinación del tiempo de congelación mediante la media de dos réplicas.

3.3. Comparación de resultados

El análisis demuestra que los modelos predictivos son herramientas confiables para evaluar la cinética de congelación en la uvilla, el arándano, camarón, atún y brócoli. La significancia del tiempo como factor principal indica que este es el parámetro crítico para garantizar una congelación eficiente, especialmente en métodos como la inmersión en soluciones de sacarosa. Los errores RMSE 155,04 de la uvilla son los más bajos y MBE 24036,23 son los más bajos dando como resultado, buena significancia en comparación a los demás alimentos. Al hablar del RMSE Y MBE del el arándano, camarón, atún y brócoli, aunque presentes, no comprometen gravemente la precisión, pero sugieren que podrían realizarse ajustes en los modelos para mejorar la exactitud, especialmente al considerar características específicas de la uvilla, como su tamaño y contenido de azúcar, la información obtenida a partir de esta evaluación estadística es esencial para optimizar procesos industriales de congelación, garantizando una mayor calidad y conservación del producto final.

CAPÍTULO IV.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

-Los tiempos de congelación de camarón, atún, uvilla, brócoli y arándanos sometidos a temperaturas bajas mediante la técnica de enfriamiento por inmersión en diferentes soluciones ha proporcionado valiosos datos sobre la congelación de alimentos frescos, obteniendo variaciones significativas en función al tipo de alimento y la concentración de las soluciones de inmersión, este análisis contribuye al entendimiento de los mecanismos de congelación y puede servir como base para optimizar los procesos de conservación mediante esta técnica, mejorando la eficiencia y calidad de los productos alimenticios tratados.

-La congelación por inmersión a -10 °C en solución salina al 15% es más eficiente para la conservación de alimentos como brócoli, camarón y atún, en comparación al uso de solución de sacarosa al 35% Sin embargo, es fundamental realizar un control estricto de las condiciones del proceso para minimizar los efectos negativos asociados con la formación de cristales de hielo y la migración de solutos, los modelos predictivos, especialmente el de Pham y Plank, pueden ser herramientas valiosas para diseñar y ajustar los procesos en la industria alimentaria.

-Los modelos predictivos empleados en este estudio han demostrado ser herramientas valiosas para evaluar la cinética de congelación en una variedad de alimentos, incluyendo frutas como la uvilla y el arándano, y productos marinos como el camarón y el atún. La significancia estadística del tiempo como factor principal en la congelación subraya la importancia de controlar este parámetro para garantizar un proceso de congelación eficiente y eficaz.

4.2. Recomendaciones

-Es importante tener en cuenta la homogeneidad de los productos, así como la temperatura inicial de los mismos y las propiedades de las soluciones de inmersión para ajustar los modelos a las particularidades de cada alimento.

-Se sugiere combinar la inmersión en solución salina con pretratamientos como el uso de agentes crioprotectores para minimizar el daño celular y mejorar la calidad final de los alimentos

-Analizar la variación de las propiedades fisicoquímicas de los productos durante la congelación para entender su influencia en la cinética del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrocalidad. (2016). *Uvilla*. www.agrocalidad.gob.ec

Agrocalidad. (2019). *Primer envío de uvilla ecuatoriana con destino a Estados Unidos - Agrocalidad*. www.agrocalidad.gob.ec

Aguirre, I., Andrade, C., & Segovia, S. (2024). *Boletín analítico trimestral de comercio exterior-Primer trimestre de 2024. Gerencia de estudios y estadísticas económicas subgerencia de información económica*. www.bce.ec

ARCSA. (2015). *NORMATIVA TÉCNICA SANITARIA UNIFICADA DE ALIMENTOS*. https://www.servei.com.ec/wp-content/uploads/2020/01/normativa_tecnica_sanitaria_unificada_de_alimentos.pdf

BCE. (2023). *Informe de la evolución de la economía ecuatoriana en 2022 y perspectivas 2023*. www.bce.ec

BCE. (2024). *Boletín Analítico Trimestral de Comercio Exterior.* https://contenido.bcn.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/Comercio Ex

Beltrán, A., Tutora, T. M., Liliana, I. M. S., & Arcos, P. A. (2021). *Efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales: Una revisión bibliográfica de datos publicados*. https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33606

Bhardwaj, R. L., Parashar, A., Parewa, H. P., & Vyas, L. (2024). An Alarming Decline in the Nutritional Quality of Foods: The Biggest Challenge for Future Generations' Health. *Foods*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/foods13060877

Cárdenas, L. (2012). *Efecto de las temperaturas y tipos de congelación en las propiedades sensoriales y físico-químicas en la conservación de pulpa de lúcuma (pouteria obovata)*. http://hdl.handle.net/20.500.12894/2665

Chang, J., Sun, P., Gong, X., Sun, Z., Wang, J., & Li, X. (2023). Simulation-Based Analysis of the Effect of New Immersion Freezing Equipment on the Freezing Speed. *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(4). https://doi.org/10.3390/app13042392

Chang, L., Li, Y., Bai, X., Xia, X., & Xu, W. (2023). Inhibition of Chitosan Ice Coating on the Quality Deterioration of Quick-Frozen Fish Balls during Repeated Freeze–Thaw Cycles. *Foods*, *12*(4). https://doi.org/10.3390/foods12040717

Chaves, J., & Acosta, O. (2023). Isochoric freezing: advantages and research opportunities in the food industry. *Agronomia Mesoamericana*, *34*(3). https://doi.org/10.15517/am.2023.52879

Comandini, P., Blanda, G., Soto, M., Sala, V., Tylewicz, U., Mujica, H., Valdez, A., & Gallina, T. (2013). Efectos de los ultrasonidos de potencia en los parámetros de congelación por inmersión de patatas. *Science Direct*, *18*, 120–125. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.01.009

Dincer, I. (2019). Freezing. Refrigeration Systems and Applications. In *Refrigeration Systems and Applications 2019*. MDPI. https://doi.org/10.3390/books978-3-03921-953-7

Falconí, J. (2024). Efectos del tiempo de congelación en las características bromatológicas de Arazá (Eugenia stipitata) aplicando modelos matemáticos. *Revista Alfa*, *8*(23), 331–343. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.267

FAO. (2009). *Penaeus vannamei. In Cultured aquatic species fact sheets.* www.fao.org

FEPEXA. (2021). *Federación Ecuatoriana de Productores y Exportadores de Arándanos*. https://fepexa.org.ec/arandano.html

Giannakourou, M. (2015). *Freezing. Handbook of food processing: Food preservation*.

Holden, N., Leigh, M., Arogo, J., & Cummins, E. (2021). *Congelación de Alimentos*.

Huo, Y., Yang, D., Xie, J., & Yang, Z. (2023). Simulation Analysis and Experimental Verification of Freezing Time of Tuna under Freezing Conditions. *Fishes*, *8*(9). https://doi.org/10.3390/fishes8090470

James, C., Purnell, G., & James, S. (2014). Food and Bioprocess Technology. In *Foo*.

Kanoglu, M., Boles, A., & Çengel, A. (2019). *Termodinámica* (McGrawHill, Ed.).

Kumar, V., Kumar, H., & Kumar, N. (2022). *Engineering Properties of Foods*.

Li, T., Kuang, S., Xiao, T., Hu, L., Nie, P., Ramaswamy, H. S., & Yu, Y. (2022). The Effect of Pressure−Shift Freezing versus Air Freezing and Liquid Immersion on the Quality of Frozen Fish during Storage. *Foods*, *11*(13). https://doi.org/10.3390/foods11131842

Liu, D., Xu, C., Xiao, C., & Xin, X. (2020). Sub-zero temperature preservation of fruits and vegetables: A review. *109881*. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109881

Liu, S., Zhang, L., Chen, J., Li, Z., Liu, M., Hong, P., Zhong, S., & Li, H. (2024). Effect of Freeze–Thaw Cycles on the Freshness of Prepackaged Penaeus vannamei. *Foods*, *13*(2). https://doi.org/10.3390/foods13020305

Ljubej, V., Radojčić Redovniković, I., Salopek-Sondi, B., Smolko, A., Roje, S., & Šamec, D. (2021). Chilling and freezing temperature stress differently influence glucosinolates content in brassica oleracea var. Acephala. *Plants*, *10*(7). https://doi.org/10.3390/plants10071305

Lv, Y., Chu, Y., Zhou, P., Mei, J., & Xie, J. (2021). Effects of different freezing methods on water distribution, microstructure and protein properties of cuttlefish during the frozen storage. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(15). https://doi.org/10.3390/app11156866

Machado, K., & Vélez, J. (2008). *STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES IN MEXICAN FOODS DURING FREEZING AND FROZEN STORAGE*. *7*(1), 41–54.

MAG. (2023). *Informe ejecutivo de rendición de cuentas periodo: Enero-Diciembre 2023*. https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/03/MAG-Informe-Rendicion-de-Cuentas-2023.pdf

MCE. (2017). *Informe sobre el sector atunero ecuatoriano*. www.produccion.gob.ec

Mendo, C., Alfaro, J., & Paternina, C. (2015). *Manual práctico para gestión logística. Envase y embalaje - Transporte y cadena de frío - Preservación de productos del agro* (Editorial del Norte, Ed.).

Miao, H., Lin, J., Zeng, W., Wang, M., Yao, L., & Wang, Q. (2019). Main health-promoting compounds response to long-term freezer storage and different thawing methods in frozen broccoli florets. *Foods*, *8*(9). https://doi.org/10.3390/foods8090375

Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2023). *Informe mensual – Ecuador*. https://www.produccion.gob.ec/

Montes, L., Castaño, J., & Orrego, C. (2006). *Evaluación del sistema de congelación rápida IQF individually quick freezing para conservación de la mora de Castilla*. http://hdl.handle.net/10778/200

Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant activity in frozen plant foods: Effect of cryoprotectants, freezing process and frozen storage. In *Foods* (Vol. 9, Issue 12). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/foods9121886

NTE INEN 1338. (2013). *Carne y productos del mar.*

NTE INEN 1751. (2013). *FRUTAS FRESCAS. DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN*.

NTE INEN 2104. (2013). *Hortalizas frescas. Definiciones*.

Pham, Q. (1986). Simplified equation for predicting the freezing time of foodstuffs. *International Journal of Food Science & Technology*, *21*(5), 209–219. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb00442.x

Rahman, M., & Velez, J. (2007). Handbook of Food Preservation by Freezing. In *Handbook of Food Preservation: Vol. second*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420017373

Rocca, P., Roche, L., Languasco, J., & Mascheroni, R. (2014). Modelado de la Cinética de Conservación de Zanahoria (Daucus Carota) por Osmodehidrocongelación. *Tecnología y Ciencia*, 2–19.

Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2014). *Producción de brócoli en Ecuador*. https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N38.pdf

Singh, R. P. (2014). *Heat Transfer in Food Processing.*

Singh, R. P., & Heldman, D. (2014). *Heat Transfer in Food Processing. Introduction to food engineering* (pp. 265–417).

Sulla, R. (2016). *Influencia de los sólidos solubles en el calor especifico de la pulpa concentrada de piña (Ananas comosus), zumo concentrado de naranja (Citrus sinensis) y comparación con los modelos matemáticos de Choi y Okos, S*.

Sun, D., & Delgado, A. (2010). *Ultrasound-Assisted Freezing. In Ultrasound technologies for food and bioprocessing*. Springer New York.

Taco, L., & Pizarro, K. (2023). *Análisis comparativo de las exportaciones de camarón, cacao y banano del Ecuador y su incidencia en la balanza comercial*. 116–126. https://orcid.org/0000-0003-1743-8298

Tsironi, T. N., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2020). Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions. *Foods*, *9*(12). https://doi.org/10.3390/foods9121893

Wang, M., Jin, S., Ding, Z., & Xie, J. (2023). Effects of Different Freezing Methods on Physicochemical Properties of Sweet Corn during Storage. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(1). https://doi.org/10.3390/ijms24010389

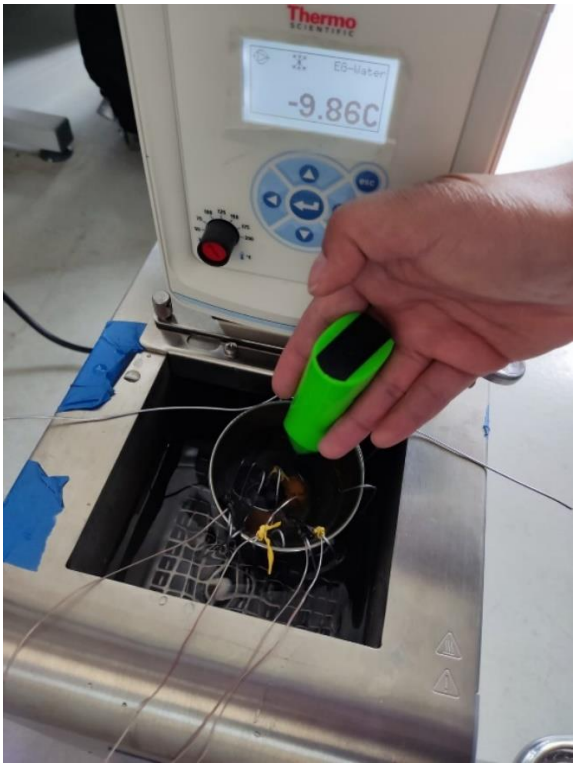
Zhao, Z., Wu, Y., Lu, Z., Zhao, C., Xiao, J., & Guo, Z. (2024). *Effects of Quality Enhancement of Frozen Tuna Fillets Using Ultrasound-Assisted Salting: Physicochemical Properties, Histology, and Proteomics*. https://doi.org/10.3390/foods

Zhmakin, A. (2009). *Fundamentals of cryobiology: physical phenomena and mathematical models* (Springer Berlin Heidelberg, Ed.).

ANEXOS



Anexo 1. Caracterización proximal (porcentaje de humedad de la uvilla)



Anexo 2. Congelación mediante inmersión en solución de sacarosa en una concentración del 35% para uvilla y arándano.



Anexo 3. Congelación mediante inmersión en solución salina en una concentración del 15% para brócoli, camarón, atún.



Anexo 4. Temperatura de inicio de congelación mediante inmersión en solución salina en una concentración del 15% para brócoli por duplicado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

LACONAL

01537

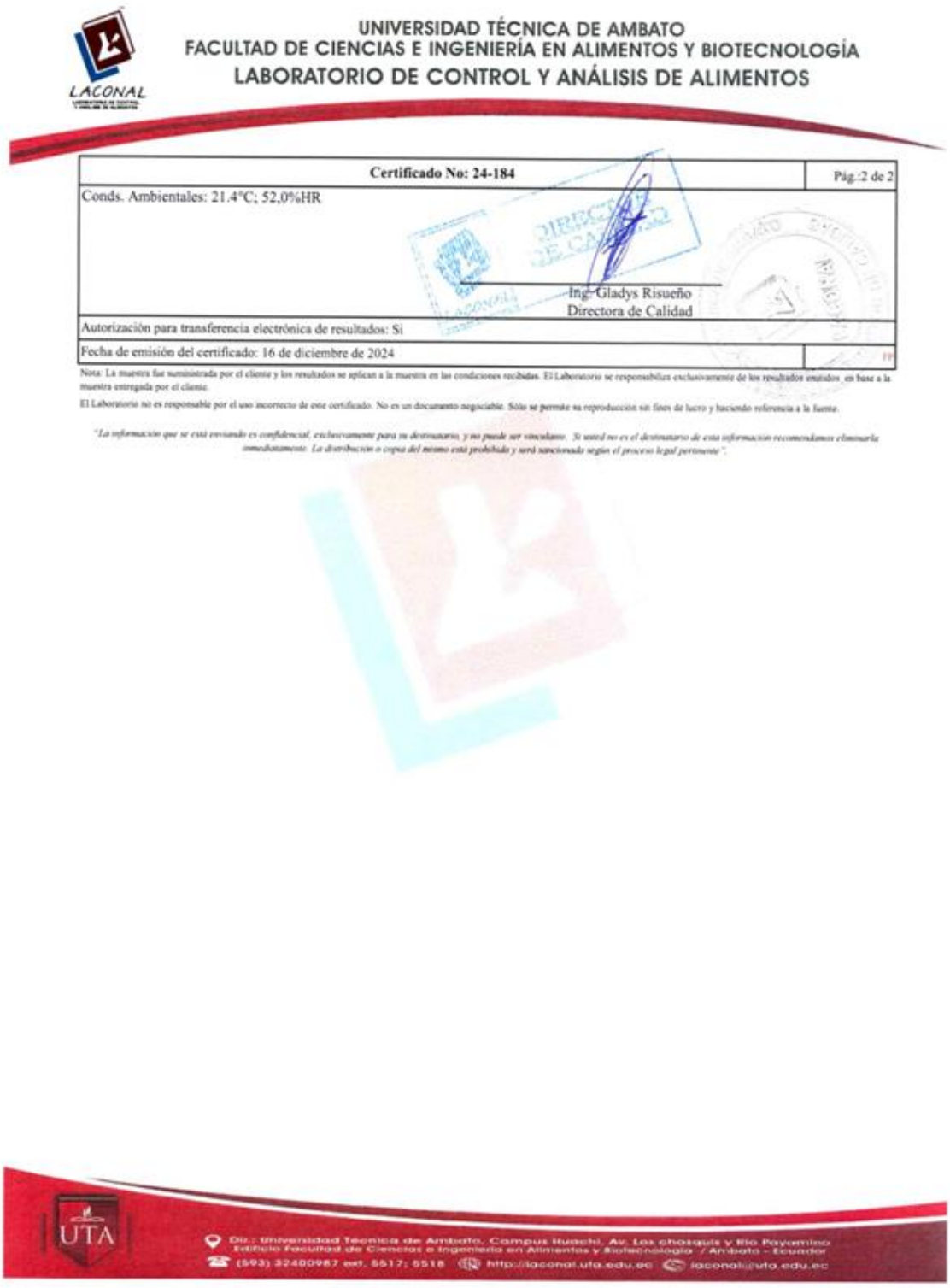
CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 24-184				R01-7.8 03
Solicitud N°: 24-184				Pág.:1 de 2
Fecha recepción:	03 de diciembre de 2024	Fecha de ejecución de ensayos: 10 al 13 de diciembre de 2024		
Información del cliente:				
Empresa:		C.I./RUC:	1727451997	
Representante:	Josselyn Jima; Elkin Quishpe	Tlf:	0960153691	
Dirección:	Quito	Email:	jjima1997@uta.edu.ec	
Ciudad:	Quito			
Descripción de las muestras:				
Producto:	1. Camarón; 2. Atún; 3. Arándanos; 4. Uvilla; 5. Brócoli	Peso:	200g cada muestra	
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase:	funda ziploc	
Lote:	n/a	No de muestras:	cinco	
F. Elb.:	n/a	F. Exp.:	n/a	
Conservación: Ambiente:	Refrigeración: X (3,4,5) Congelación:X (1;2)	Almac. en Lab:	15 días	
Cierres seguridad: Ninguno: X	Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente:	03 de diciembre de 2024	

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Camarón	18424414	Ninguno	Fibra cruda, Gravimetría	INEN 522	%	0
			Proteína, Kjeldhal	AOAC 991.2. Ed. 22, 2023	%(Nx6,25)	16,7
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0,520
Atún	18424415	Ninguno	Fibra cruda, Gravimetría	INEN 522	%	0
			Proteína, Kjeldhal	AOAC 991.2. Ed. 22, 2023	%(Nx6,25)	23,4
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	1,48
Arándanos	18424416	Ninguno	Fibra cruda, Gravimetría	INEN 522	%	0,226
			Proteína, Kjeldhal	AOAC 991.2. Ed. 22, 2023	%(Nx6,25)	0,943
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0,037
Uvilla	18424417	Ninguno	Fibra cruda, Gravimetría	INEN 522	%	1,25
			Proteína, Kjeldhal	AOAC 991.2. Ed. 22, 2023	%(Nx6,25)	1,88
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0,308
Brócoli	18424418	Ninguno	Fibra cruda, Gravimetría	INEN 522	%	0,638
			Proteína, Kjeldhal	AOAC 991.2. Ed. 22, 2023	%(Nx6,25)	2,65
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0,317

UTA
Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los chasquis y Río Payamino
Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador
(593) 32400987 ext. 5517; 5518 http://laconal.uta.edu.ec laconal@uta.edu.ec



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Certificado No: 24-184	Pág.:2 de 2
Conds. Ambientales: 21.4°C; 52,0%HR	
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si	
Fecha de emisión del certificado: 16 de diciembre de 2024	

Ing. Gladys Risueño
Directora de Calidad

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".

Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los chasquis y Río Payamino
Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador
(593) 32400987 ext. 5517; 5518 http://laconal.uta.edu.ec laconal@uta.edu.ec

Anexo 5. Certificado de análisis de LACONAL.

Factores inter-sujetos

		N
Modelo	1,00	4
	2,00	4
	3,00	4
Tiempo	1,00	6
	2,00	6

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Tiempocongelacion

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	109,187[a]	5	21,837	146,773	<,001
Intersección	3122,768	1	3122,768	20988,695	<,001
Modelo	13,040	2	6,520	43,820	<,001
Tiempo	83,108	1	83,108	558,584	<,001
Modelo * Tiempo	13,040	2	6,520	43,820	<,001
Error	,893	6	,149		
Total	3232,848	12			
Total corregido	110,080	11			

a. R al cuadrado = ,992 (R al cuadrado ajustada = ,985)

Anexo 6. Tabla ANOVA

Modelo		Uvilla	Arándano	Brócoli	Camarón	Atún
Pham	**RMSE**	155,04	234,05	160,97	303,55	186,68
	MBE	24036,23	54778,21	25911,24	92144,55	34849,83
	R^2	0,37	0,26	0,40	0,32	0,36
Transferencia	**RMSE**	17,81	18,13	17,47	14,79	15,85
	MBE	317,29	328,94	305,13	218,96	301,01
	R^2	2,20	2,11	2,21	1,93	2,11

Anexo 7. Evaluación de modelos matemáticos

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Tiempocongelacion

HSD Tukey

(I) Modelo	(J) Modelo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	2,00	-1,5150*	,27275	,003	-2,3519	-,6781
	3,00	1,0225*	,27275	,022	,1856	1,8594
2,00	1,00	1,5150*	,27275	,003	,6781	2,3519
	3,00	2,5375*	,27275	<,001	1,7006	3,3744
3,00	1,00	-1,0225*	,27275	,022	-1,8594	-,1856
	2,00	-2,5375*	,27275	<,001	-3,3744	-1,7006

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = ,149.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Subconjuntos homogéneos

Tiempocongelacion

HSD Tukey[a,b]

Modelo	N	Subconjunto		
		1	2	3
3,00	4	14,9450		
1,00	4		15,9675	
2,00	4			17,4825
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = ,149.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Anexo 8. Análisis de TUKEY.