



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

POSGRADO EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS

**ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE ESTADO PARA
DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE MATRICES PROTEICAS
DESHIDRATADAS Y CONGELADAS**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS

PRESENTA:

REYES HERNÁNDEZ MARICELA

DIRECTOR DE TESIS

DR. MIGUEL ÁNGEL RUIZ CABRERA

Co-DIRECTORA DE TESIS

DRA. ALICIA GRAJALES LAGUNES



REPOSITORIO INSTITUCIONAL



**UASLP-Sistema de Bibliotecas
Repositorio Institucional Tesis Digitales Restricciones de Uso
DERECHOS RESERVADOS
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en este Trabajo Terminal está protegido por la Ley Federal de Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos.

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo, mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto o con fines de lucro, reproducción, edición o modificación será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Elaboración y aplicación de diagramas de estado para determinar la estabilidad de matrices proteicas deshidratadas y congeladas. © 2025 by Maricela Reyes Hernández is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Este proyecto se realizó en Laboratorio de Ingeniería de los Alimentos y Laboratorio de Ciencias de los Alimentos de Investigación, adscritos a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en el periodo comprendido entre enero del 2024 a agosto del 2025, bajo la dirección del Dr. Miguel Angel Ruiz Cabrera y la Dra. Alicia Grajales Lagunes.

El programa de Maestría en Ciencias en Bioprocessos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí pertenece al Sistema Nacional de Posgrados de Calidad (SNP) de la SECIHTI, registro 000588. Número de la beca otorgada por SECIHTI:1316883.

Los datos del trabajo titulado Nombre del trabajo terminal se encuentran bajo el resguardo del Nombre de la entidad académica a la que está adscrito dicha instalación y pertenecen a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Aprobación de Tema de Tesis

San Luis Potosí SLP a diciembre/15 /2023

Dr. Miguel Ángel Ruiz Cabrera

Habiendo revisado su solicitud para el registro de título de tesis de la alumna **Maricela Reyes Hernández**, Estudiante de Maestría en Ciencias en Bioprocessos.

Esta Coordinación a mi cargo, le informa que el Comité Académico del Posgrado (CAP), avaló y consideró **APROBADO** el registro de Título de tesis:

Elaboración y aplicación de diagramas de estado para determinar la estabilidad de matrices proteicas deshidratadas y congeladas.

Sin más por el momento, quedo de Uds.



Dr. Alejandro Rocha Uribe

Coordinador del Posgrado PCB



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

POSGRADO EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS

ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE ESTADO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE MATRICES PROTEICAS DESHIDRATADAS Y CONGELADAS

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS

PRESENTA:

REYES HERNÁNDEZ MARICELA

DIRECTOR DE TESIS

DR. MIGUEL ANGEL RUIZ CABRERA

Co-DIRECTORA DE TESIS

DRA. ALICIA GRAJALES LAGUNES

SINODALES:

PRESIDENTE

DRA. ALICIA GRAJALES LAGUNES

VOCAL :

DR. JAIME DAVID PÉREZ MARTÍNEZ

VOCAL :

DR. MIGUEL ANGEL RUIZ CABRERA

VOCAL:

DR. RAÚL GONZÁLEZ GARCÍA

SAN LUIS POTOSÍ S.L.P.

DICIEMBRE DEL 2025

Integrantes del comité tutorial académico

Dr. Miguel Ángel Ruiz Cabrera: Director de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias en Bioprocessos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dra. Alicia Grajales Lagunes: Co-directora de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias en Bioprocessos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dr. Jaime David Pérez Martínez: Asesor de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias en Bioprocessos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dr. Raúl González García: Asesor de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias en Bioprocessos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Carta Cesión de Derechos

San Luis Potosí SLP a Diciembre /11/2025.

En la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., el día 11 del mes de diciembre del año 2025 El que suscribe Maricela Reyes Hernández Alumno(a) del programa de posgrado Ciencias en Bioprocessos adscrito a Facultad de Ciencias Químicas manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo terminal, realizado bajo la dirección de: Dr. Miguel Angel Ruiz Cabrera y Dra. Alicia Grajales Lagunes y cede los derechos del trabajo titulado Elaboración y aplicación de diagramas de estado para determinar la estabilidad de matrices proteicas deshidratadas y congeladas a la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir de forma total o parcial texto, gráficas, imágenes o cualquier contenido del trabajo si el permiso expreso del o los autores. Éste, puede ser obtenido directamente con el autor o autores escribiendo a la siguiente dirección marirh01@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Maricela Reyes Hernández

Carta de Análisis de Similitud

San Luis Potosí SLP a 15 de diciembre de 2025

L. B. Nayeli Ortiz Quintero
Biblioteca de Posgrado FCQ

Asunto: Reporte de porcentaje de similitud de tesis de grado

Por este medio me permito informarle el porcentaje de similitud obtenido mediante Iauthenticate para la tesis titulada ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE ESTADO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE MATRICES PROTEICAS DESHIDRATADAS Y CONGELADAS presentada por el autor MARICELA REYES HERNÁNDEZ. La tesis es requisito para obtener el grado de Maestría en el Posgrado en Ciencias en Bioprocessos. El análisis reveló un porcentaje de similitud de 14 % excluyendo referencias y metodología.

Agradezco sinceramente su valioso tiempo y dedicación para llevar a cabo una exhaustiva revisión de la tesis. Quedo a su disposición para cualquier consulta o inquietud que pueda surgir en el proceso.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Dra. Jaime David Pérez Martínez
Coordinador Académico
Posgrado en Ciencias en Bioprocessos

Agradecimientos académicos

A mi director y codirectora de tesis, el Dr. Miguel Ángel Ruiz Cabrera y la Dra. Alicia Grajales Lagunes, por la confianza depositada en mí y por los conocimientos, habilidades y orientación brindados, los cuales fueron pilares fundamentales en cada etapa del desarrollo de este trabajo. Su paciencia, compromiso y disciplina académica resultaron esenciales para la culminación exitosa de esta investigación.

A la Maestra en Ciencias Cecilia Rivera Bautista, por su constante disponibilidad y valioso apoyo. Agradezco profundamente la disposición para compartir su experiencia y conocimientos durante el desarrollo de los diversos experimentos realizados, así como por su acompañamiento y aliento durante el proceso de conclusión de esta investigación.

Agradecimientos personales

A mi familia, por ser mi mayor apoyo y fortaleza a lo largo de este proceso. Gracias por su amor incondicional, comprensión y paciencia en cada etapa de mi formación académica, incluso en los momentos más difíciles. Su confianza en mí fue un impulso constante para no rendirme.

A mis amigos y seres queridos, por su acompañamiento, palabras de ánimo y apoyo sincero. Su presencia hizo más llevadero este camino y me recordó la importancia de mantener el equilibrio entre el esfuerzo académico y la vida personal.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de este trabajo y a mi crecimiento personal y profesional. Cada consejo, gesto de apoyo y muestra de confianza dejaron una huella significativa en este logro.

RESUMEN

La carne constituye uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial. En particular, las carnes de cerdo y aves representan fuentes fundamentales de proteína en los contextos nacional e internacional, apreciadas por su alta calidad nutricional y sensorial. Estas características las posicionan como componentes relevantes en la alimentación humana y en el desarrollo de la industria alimentaria. Sin embargo, el congelamiento -18 °C puede causar daños estructurales, pérdida de líquidos, alteraciones en el color y desnaturalización de proteínas tras la descongelación. Determinar la temperatura óptima de congelación es esencial para garantizar la estabilidad del producto, un aspecto poco abordado en la literatura. Este estudio se centró en evaluar los efectos de los valores de maltodextrina (PMD) de 0, 0.4 y 0.8 sobre la estabilidad y las transiciones térmicas (T_g , Tg' , T_m , Tm') de los polvos de pechuga de pollo y cerdo a través de análisis TGA y DSC y construir sus respectivos diagramas de estado. Los resultados indicaron que la adición de maltodextrina eleva significativamente los parámetros térmicos de las matrices proteicas de cerdo y pollo. El análisis mediante diagramas de estado permitió determinar las temperaturas de congelación y almacenamiento para ambas muestras, obteniéndose -21.8, -16.9 y -13°C en la formulación de cerdo y de -24.3, -18.6 y -13°C en las de pollo, correspondiente a niveles de PMD de 0, 0.4 y 0.8 respectivamente.

La maltodextrina es un aditivo prometedor para mejorar la estabilidad térmica de la carne de cerdo y pollo, logrando temperaturas de almacenamiento congelado por encima de la temperatura de congelación comercial estándar de -18 °C. La implementación de diagramas de estado permite predecir la estabilidad térmica de la carne, facilitando el desarrollo de procesos de congelación más eficientes y el diseño de productos con calidad estandarizada y mayor valor agregado.

Palabras clave: Diagrama de estado, Matrices proteicas, Congelación, Maltodextrina, Transiciones térmicas, DSC, TGA.

ABSTRACT

Meat is one of the most consumed foods worldwide. Pork and poultry represent fundamental protein sources in national and international contexts, valued for their high nutritional and sensory quality. These characteristics position them as relevant components in human nutrition and the development of the food industry. However, freezing at -18 °C can cause structural damage, fluid loss, color alterations, and protein denaturation after thawing. Determining the optimal freezing temperature is essential to guarantee product stability, an aspect scarcely addressed in the literature.

This study focused on evaluating the effects of maltodextrin levels (WMD) values of 0, 0.4, and 0.8 on the thermal stability and thermal transitions (T_g , Tg' , T_m , Tm') of chicken breast and pork powders through TGA and DSC analyses, and on constructing their respective state diagrams. The results indicated that the addition of maltodextrin significantly raises the thermal parameters of the pork and chicken protein matrices. Analysis via state diagrams allowed for the determination of the freezing and storage temperatures for both sample types, yielding values of -21.8, -16.9, and -13 °C for the pork formulation and -24.3, -18.6, and -13 °C for the chicken formulation, corresponding to WMD of 0, 0.4, and 0.8, respectively.

Maltodextrin is a promising additive for improving the thermal stability of pork and chicken, enabling frozen storage temperatures above the standard commercial freezing temperature of -18 °C. The implementation of state diagrams allows for the prediction of meat's thermal stability, facilitating the development of more efficient freezing processes and the design of products with standardized quality and higher added value.

Keywords: State Diagram, Protein Matrices, Freezing, Maltodextrin, Thermal Transitions, DSC, TGA.

ÍNDICE

| | |
|--|---|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1. Antecedentes..... | 3 |
| 2.1 Consumo de carne | 3 |
| 2.2 Composición química de carne..... | 3 |
| 2.3 Procesos de conservación de alimentos cárnicos..... | 4 |
| 2.3.1 Refrigeración | 4 |
| 2.3.2 Subenfriamiento | 4 |
| 2.3.3 Congelación..... | 5 |
| 2.3.4 Deshidratación | 5 |
| 2.4 Diagrama de estado en sistemas alimentarios..... | 6 |
| 2.4.1 Concepto y principios generales de los diagramas de estado | 7 |
| 2.5 Crioprotectores | 8 |
| 9. Bibliografía..... | 9 |

1. Introducción

El incremento de la población mundial y el desarrollo económico han impulsado la demanda de proteínas cárnicas, siendo el pollo y cerdo opciones predominantes debidos a su accesibilidad, disponibilidad y rendimiento productivo (FAO, 2023). A pesar del avance de las proteínas alternativas, la carne sigue siendo una fuente esencial de nutrientes y proteínas de alto valor biológico para la dieta humana.

Sin embargo, su alta perecibilidad requiere de métodos de conservación eficaces. Entre ellos, la congelación es la técnica más utilizada a nivel industrial para prolongar la vida útil. No obstante, los métodos convencionales de congelación particularmente a -18 y -20 °C, transforma aproximadamente el 80% de agua en hielo (Im et al., 2024) no siempre garantizan la integridad del producto. Una congelación lenta genera cristales de hielo grandes e irregulares que dañan la microestructura del tejido muscular, lo que conduce a la desnaturalización proteica, pérdida de jugos y deterioro de la calidad sensorial (Zhang et al., 2022). Estas alteraciones contribuyen a un desperdicio estimado del 25–30% durante la distribución (Onwude et al., 2020), y aumenta la huella de carbono del sector.

Para enfrentar estos problemas, se han desarrollado tecnologías de congelación avanzada que promueven una nucleación rápida y controlada, como la congelación por alta presión, campos electroestáticos y la asistida por ultrasonido, entre otras (Im et al., 2024). No obstante, la mayoría de estas aplicaciones conllevan a una mayor complejidad operativa y costos más elevados. Una estrategia complementaria y prometedora es la estabilización de la matriz alimentaria mediante la incorporación de crioprotectores como la maltodextrina, que puede modificar las propiedades termofísicas del sistema.

La estabilidad a largo plazo de los alimentos congelados se relaciona con la temperatura de almacenamiento y puede describirse mediante diagramas de estado, los cuales representan la dependencia entre la fracción sólida (W_s) y temperaturas clave como T_g , T_g' , T_m , T_m' . Aunque estos conceptos se han aplicado ampliamente en

frutas y productos del mar, existe escasa información sobre sistemas cárnicos, en particular aquellos modificados con polímeros.

Por lo tanto, este estudio busca evaluar el efecto de diferentes concentraciones de maltodextrina (0, 0.4 y 0.8) sobre la estabilidad térmica y las temperaturas de transición (T_g , Tg' , T_m , Tm') en polvos de carne de pollo y cerdo, con el fin de construir sus diagramas de estado. Primero se determinará el rango térmico seguro mediante Análisis Termogravimétrico (TGA) para evitar la degradación de las muestras durante el análisis con Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Este conocimiento es fundamental para diseñar procesos de congelación y almacenamiento que preserven la calidad y reduzcan las pérdidas en la cadena de valor cárnicia.

1. Antecedentes

2.1 Consumo de carne

El incremento sostenido en el consumo de carne durante las últimas décadas se ha asociado al crecimiento poblacional, los cambios en los patrones alimentarios y el desarrollo económico en regiones emergentes. La carne continúa siendo una de las principales fuentes de proteínas de alto valor biológico, aportando aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales indispensables para la salud humana. De manera global, las carnes de cerdo y aves de corral representan las de mayor consumo debido a su disponibilidad, costo accesible y eficiencia de producción. Se han observado aumentos notables en todas las regiones del mundo, principalmente en Asia, América Latina y África (FAO,2023).

En México el panorama refleja una fuerte dependencia hacia las proteínas de origen animal, especialmente las aves de corral, que representan alrededor del 48.1% del consumo nacional de carne. La accesibilidad económica, el bajo costo de producción y su versatilidad explican esta preferencia. La carne de cerdo también ocupa un lugar central como una fuente proteica ampliamente consumida. Este contexto evidencia la importancia socioeconómica de los productos cárnicos y su necesidad de conservación eficiente para garantizar seguridad alimentaria y reducir pérdidas de procesamiento (Zahniser & Hansen, 2024).

2.2 Composición química de carne

La carne es un alimento altamente nutritivo para la dieta humana porque contiene diversos nutrientes, incluyendo proteínas que contiene aminoácidos esenciales, grasas y micronutrientes. Su composición química se conforma de, 75% de agua, 20% de proteína, 3% de grasa, 1% carbohidratos y 1% minerales y vitaminas. (Lawrie & Ledward, 2014; Picard & Gagaoua, 2020).

Esta composición química promueve que estos alimentos sean altamente perecederos, ya que son susceptibles a la degradación microbiana en condiciones ambientales y de refrigeración, por ello para mantener una mejor estabilidad de la

carne en la industria avícola y porcina se ha recurrido a diversas tecnologías industriales que se emplean para prolongar la vida útil, sin alterar las características fisicoquímicas, sensoriales y el valor nutricional. El almacenamiento a bajas temperaturas como la congelación promueve la conservación de la carne a largo plazo en comparación con la refrigeración, ya que las bajas temperaturas inhiben el crecimiento microbiano, ralentiza la actividad de las enzimas y ayudan a mantener intactos el sabor original y los componentes nutricionales.

2.3 Procesos de conservación de alimentos cárnicos

Los alimentos frescos, especialmente carnes y pescados, son productos altamente perecederos y requieren de procesos de conservación que incrementen su vida útil. Actualmente se han empleado diferentes métodos de conservación para el almacenamiento y conservación de productos cárnicos.

2.3.1 Refrigeración

La refrigeración es una técnica de conservación la cual consiste en disminuir la temperatura de los productos alimenticios por debajo de la temperatura ambiente, sin alcanzar el punto de congelación. Generalmente, se aplica en un rango térmico de 0°C a 5°C, dependiendo del tipo de alimento y su susceptibilidad al deterioro. Esta técnica se basa en el principio de que a bajas temperaturas se reduce significativamente la velocidad de crecimiento y actividad de microorganismos, así como de las reacciones enzimáticas y químicas responsables del deterioro (Cao et al., 2023)

Este método es ampliamente utilizado para la conservación de alimentos perecederos, tales como carnes, pescados, mariscos, frutas y hortalizas

2.3.2 Subenfriamiento

El subenfriamiento es un proceso que implica temperaturas en el límite entre la refrigeración y la congelación, es decir, que la temperatura del alimento se encuentra entre 1 y 2°C por debajo del punto de congelación inicial del producto sin que exista la formación de cristales de hielo. (Lin et al., 2023)

2.3.3 Congelación

Debido a que los productos cárnicos frescos son fáciles de corroer y deteriorar, los consumidores suelen utilizar el método de congelación para preservar su frescura y obtener proteínas de alta calidad (Cheng et al., 2024). La temperatura de congelación comúnmente utilizada en la industria alimentaria oscila entre -18 y -40°C, siendo la más utilizada -20°C. Se ha considerado que la congelación lenta incrementa el tamaño de cristal provocando daños significativos en la estructura de los mismos. Sin embargo, si la congelación es rápida (velocidad de 10 a 100°C/min), el tamaño del cristal de hielo disminuye y proporciona una mejor retención de la calidad de los alimentos, ya que al ser cristales más pequeños causan un daño mucho menor a las paredes celulares de los alimentos.

Sin embargo, durante el almacenamiento de los productos cárnicos en congelación puede ocurrir la recristalización, la cual es un suceso que ocurre continuamente debido a la inestabilidad que se tiene durante su almacenamiento en congelador y/o presencia de agua libre no congelado (Syamaladevi et al., 2012), lo que causa una modificación en el tamaño, la forma y la cantidad de cristales de hielo en carne congelada, provocando cambios fisicoquímicos en la carne. Los principales cambios en carne congelada son las reacciones enzimáticas y de oxidación, que afectan la calidad de este.

En la literatura se ha propuesto que para disminuir los fenómenos de re-cristalización del hielo, los fenómenos difusivos, los cambios micro-estructurales e incrementar la estabilidad de los alimentos, estos deben ser congelados a una temperatura menor a la temperatura de transición vítrea (T_g'), puesto que se ha propuesto que es la temperatura de referencia para incrementar la estabilidad de los alimentos congelados.

2.3.4 Deshidratación

La deshidratación de carne es un proceso de conservación, la cual consiste en la remoción controlada de agua libre e inmovilizada de los tejidos musculares mediante la aplicación de una fuente de energía térmica (aire caliente, microondas, radiación UV, vacío o liofilización). Este proceso reduce la actividad de agua (aw) por debajo del

umbral necesario para el crecimiento microbiano (<0.85), ralentiza reacciones bioquímicas y enzimáticas, y prolonga la vida útil del producto, conservando simultáneamente atributos sensoriales y nutricionales críticos (Karami et al., 2024; Huang et al., 2022). Durante este proceso, se producen cambios estructurales en las proteínas, que pueden afectar la textura, color y capacidad de retención de agua del producto final. La eficiencia del proceso depende principalmente de parámetros como temperatura, velocidad de aire, presión, geometría de la muestra y humedad relativa del entorno.

En el proceso de deshidratación es importante mantener el alimento por debajo de su temperatura de transición vítrea (T_g), permitiendo mayor estabilidad fisicoquímica y microbiológica durante el secado y almacenamiento. Además de permitir optimizar el pretratamiento y tipo de deshidratación, según el contenido de sólidos y el comportamiento térmico del sistema (Joardder et al., 2023).

Para evaluar de manera precisa el comportamiento de los alimentos durante su almacenamiento se ha propuesto en la literatura el uso de diagramas de estado.

2.4 Diagrama de estado en sistemas alimentarios

Los diagramas de estado constituyen una herramienta fundamental para comprender la estabilidad físico-química de los alimentos y predecir su comportamiento durante procesos de deshidratación, congelación, almacenamiento y distribución. En términos generales son representaciones gráficas de los estados físicos de los componentes de los alimentos con respecto a la temperatura, contenido de agua o sólidos de los alimentos a presión constante para el equilibrio y el desequilibrio del sistema (Roos, 2021). En alimentos, donde predominan matrices multicomponentes altamente amorfas y con variaciones amplias de humedad, estos diagramas son esenciales para entender cómo la movilidad molecular y el contenido de agua influyen en la estabilidad estructural.

En matrices deshidratadas o congeladas, la temperatura de transición vítrea (T_g) es uno de los parámetros más críticos, ya que determina la frontera entre un estado vítreo

rígido, de baja movilidad molecular, y un estado gomoso donde aumentan las tasas de deterioro, reacciones químicas y colapso estructural (Roos, 2021). Esto es particularmente relevante en alimentos proteicos, donde la movilidad del agua afecta directamente la estructura terciaria y la capacidad de formar redes estables.

En sistemas congelados, los diagramas de estado permiten identificar la región máxima concentración-congelación (Tg'), que representa la temperatura por debajo de la cual la matriz no congelada alcanza una concentración máxima debido a la formación de hielo (Le Meste et al., 2002). Esta región es clave para predecir fenómenos como recristalización, sinéresis y desnaturaleza proteica durante almacenamiento prolongado. La caracterización de Tg' y otras variables térmicas mediante técnicas como DSC o MDSC ha permitido mejorar significativamente la comprensión de la crioprotección y la estabilidad de biomacromoléculas (Sablani et al., 2023).

Los diagramas de estado también integran parámetros empíricos derivados de modelos matemáticos como las ecuaciones de Gordon-Taylor y Chen, ampliamente utilizadas para predecir Tg en mezclas complejas.

2.4.1 Concepto y principios generales de los diagramas de estado

Un diagrama de estado puede incluir una línea vítreo que caracteriza la temperatura de transición vítreo y la relación entre el contenido de sólidos, una curva de fusión/congelación que indica la disminución del punto de fusión/congelación en función de la concentración de sólidos, una curva de solubilidad de la concentración de sólidos en soluciones acuosas saturadas a temperaturas dadas, condiciones de máxima concentración de congelación correspondiente a la temperatura al inicio de la fusión del hielo (Tm') y la temperatura de transición vítreo en condiciones de máxima formación de hielo (Tg') (Rahman 2019).

Su construcción requiere el uso de técnicas analíticas como calorimetría diferencial de barrido (DSC), calorimetría diferencial de barrido en modo modulado (MDSC), análisis

termogravimétrico (TGA) o determinaciones de aw, que proporcionan puntos experimentales para definir fronteras de fase (Rahman, 2019).

2.5 Crioprotectores

Los crioprotectores son compuestos utilizados para reducir los daños estructurales y funcionales ocasionados por el congelamiento y almacenamiento a bajas temperaturas en sistemas biológicos y alimentarios. Su función principal es limitar la formación de cristales de hielo, estabilizar las macromoléculas y reducir la movilidad del agua no congelada, lo cual contribuye a preservar la integridad de proteínas, polisacáridos y membranas celulares durante procesos de congelación y descongelación (Santana & Barbosa-Cánovas, 2021). En matrices proteicas, su uso es particularmente relevante debido a que el hielo puede inducir desnaturalización, agregación y pérdida de funcionalidad, afectando parámetros como solubilidad, retención de agua y capacidad emulsificante.

El mecanismo de acción de los crioprotectores se basa en diversas estrategias moleculares. Una de las más importantes es la reducción del punto de congelación y la disminución de la cantidad de hielo formado, lo cual se consigue mediante solutos de bajo peso molecular como azúcares, polioles o salmueras moderadas. Estos compuestos incrementan la fracción de sólidos disueltos en la fase líquida, reduciendo la temperatura de cristalización y favoreciendo la formación de matrices vítreas más estables (Sun & Li, 2020). Los crioprotectores también pueden actuar como agentes osmóticos, promoviendo la retención de agua estructural en proteínas y reduciendo el daño osmótico durante procesos de congelación rápida

9. Bibliografía

- Agafonkina, I. V., Korolev, I. A., & Sarantsev, T. A. (2019). The study of thermal denaturation of beef, pork, chicken and turkey muscle proteins using differential scanning calorimetry. *Theory and Practice of Meat Processing*, 4(3), 19–23. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2019-4-3-19-23>
- Al-Areimi, M., Al-Habsi, N., Al-Jufaili, S. M., & Rahman, M. S. (2024). State diagram of freeze-dried sardines (*Sardinella longiceps*, Valenciennes). *Journal of Food Engineering*, 379, Article 112107. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112107>
- Aparicio Rojas, G. M., & Andrade, L. J. (2023). Thermal and compositional characterization of chicken, beef, and pork cartilage to establish its lifetime. *Helijon*, 9, Article e14853. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14853>
- Association of Official Analytical Chemists. (2012). Official methods of analysis (18th ed.). AOAC International.
- Baskaran, A., Kaari, M., Venugopal, G., Manikkam, R., Joseph, J., & Bhaskar, P. V. (2021). Antifreeze proteins (AFP): Properties, sources and applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.105>
- Bryant, M. (2025). Most consumed meat in the world in 2025. World Animal Foundation. <https://worldanimalfoundation.org/advocate/most-consumed-meat-in-the-world/>
- Cao, R., Yan, L., Xiao, S., Hou, B., Zhou, X., Wang, W., Bai, T., Zhu, K., Cheng, J., & Zhang, J. (2023). Effects of different low-temperature storage methods on the quality and processing characteristics of fresh beef. *Foods*, 12(4), 782. <https://doi.org/10.3390/foods12040782>
- Cheng, W., Gao, Q., Sun, Y., Li, X., Chen, X. R., Chong, Z., & Wei, S. (2024). Research progress of freezing processes and devices for fresh meat products.

International Journal of Refrigeration, 161, 71–82.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2024.02.022>

Coronado-Vázquez, F. J., Grajales-Lagunes, A., Rosales-Mendoza, S., Abud-Archila, M., & Ruiz-Cabrera, M. A. (2023). Using maltodextrin and state diagrams to improve thermal transitions in tilapia fillet (*Oreochromis* spp.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(13), 6491–6499.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.12727>

Fongin, S., Alvino Granados, A. E., Harnkarnsujarit, N., Hagura, Y., & Kawai, K. (2019). Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. *Journal of Food Engineering*, 247, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO.
<https://www.fao.org/4/i3253e/i3253e.pdf>

García-Coronado, P., Flores-Ramírez, A., Grajales-Lagunes, A., Godínez Hernández, C., Abud-Archila, M., González-García, R., & Ruiz-Cabrera, M. A. (2020). The influence of maltodextrin on the thermal transitions and state diagrams of fruit juice model systems. *Polymers*, 12, Article 2077.
<https://doi.org/10.3390/polym12092077>

Grajales-Lagunes, A., Reyes-Hernández, J., González-Chávez, M. M., Abud-Archila, M., & Ruiz-Cabrera, M. A. (2025). A state diagram-based approach to predict maltodextrin concentration and its impact on fruit juice-based product processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 1874–1885. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-03080-x>

Grajales-Lagunes, A., Rivera-Bautista, C., Loredo-García, I., González-García, R., González-Chávez, M., Schmidt, S. J., & Ruiz-Cabrera, M. A. (2018). Using

model food systems to develop mathematical models for construction of state diagrams of fruit products. *Journal of Food Engineering*, 230, 72–81.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.025>

Hefferon, K. L., De Steur, H., Perez-Cueto, F. J. A., & Herring, R. (2023). Alternative protein innovations and challenges for industry and consumer: An initial overview. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1038286.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1038286>

Im, C., Song, S., Cheng, H., Park, J., & Kim, G.-D. (2024). Assessing individual muscle characteristics to enhance frozen-thawed meat quality. *Food Science of Animal Resources*, 44(4), 758–778. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e39>

Jiang, L., Liu, D., Wang, W., Lv, R., Yu, S., & Zhou, J. (2025). Advancements and perspectives of novel freezing and thawing technologies effects on meat: A review. *Food Research International*, 204, Article 115942.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115942>

Joardder, M. U. H., Bosunia, M. H., Hasan, M. M., Ananno, A. A., & Karim, A. (2023). Significance of glass transition temperature of food material in selecting drying condition: An in-depth analysis. *Food Reviews International*, 40(3), 952–973.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2204131>

Kurozawa, L. E., Barbin, D. F., & Hubinger, M. D. (2017). Implications of nonequilibrium states and glass transitions in frozen and dried fish and meat products. In B. Bhandari & Y. H. Roos (Eds.), *Nonequilibrium states and glass transitions in foods* (pp. 325–348). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100309-1.00017-1>

Kurozawa, L. E., Park, K. J., & Hubinger, M. D. (2009). Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray-dried chicken meat hydrolysate protein. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 287–296.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.006>

Li, D., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2018). Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.019>

Lin, H., Xu, Y., Guan, W., Zhao, S., Li, X., Zhang, C., Blecker, C., & Liu, J. (2023). The importance of supercooled stability for food during supercooling preservation: A review of mechanisms, influencing factors, and control methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(33), 12207–12221. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2248515>

López-Angulo, D., Bittante, A. M. Q. B., Luciano, C. G., Ayala-Valencia, G., Flaker, C. H. C., Djabourov, M., & Amaral Sobral, P. J. (2020). Effect of Laponite® on the structure, thermal stability and barrier properties of nanocomposite gelatin films. *Food Bioscience*, 35, Article 100596. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100596>

Matuda, T. G., Hoshino, L. M., Ribeiro, E. P., & Tadini, C. C. (2023). The influence of polydextrose on freeze-dried unripe acerola (*Malpighia emarginata* DC.) by the concept of a state diagram. *Journal of Food Engineering*, 341, Article 111349. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111349>

Minani, S., Gasogo, A., Ntirandekura, J. B., Trevisan, C., & Gabriël, S. (2025). Stakeholders' practices in the pork value chain: Potential risks for *Taenia solium* and *Toxoplasma gondii* transmission in Burundi. *Preventive Veterinary Medicine*, 239, Article 106492. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106492>

Ojeda-Galván, H. J., Hernández-Arteaga, A. C., Rodríguez-Aranda, M. C., Toro-Vázquez, J. F., Cruz-González, N., Ortíz-Chávez, S., Comas-García, M., Rodríguez, A. G., & Navarro-Contreras, H. R. (2023). Application of Raman spectroscopy for the determination of protein denaturation and amino acid decomposition temperature. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 285, Article 121941. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121941>

Onwude, D. I., Chen, G., Eke-Emezie, N., Kabutey, A., Khaled, A. Y., & Sturm, B. (2020). Recent advances in reducing food losses in the supply chain of fresh agricultural produce. *Processes*, 8(11), 1431. <https://doi.org/10.3390/pr8111431>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Perspectivas alimentarias: Informe anual sobre la producción y el consumo de carnes*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/95b2acf6-a48c-42c1-a3b8-d8325c02725d/content>

Picard, B., & Gagaoua, M. (2020). *Current advances in meat nutritional, sensory and physical quality improvement*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-691-1>

Rahman, M. S., Suresh, S., Al Habsi, N., Mohamed Al Khusaibi, M., Al Attabi, Z. H., & Al Subhi, L. (2021). Stability of vitamin C in broccoli based on chemical reaction kinetics, micro-region state diagram, and empirical correlations. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1559–1573. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1977658>

Roos, Y. H. (2021). Glass transition and re-crystallization phenomena of frozen materials and their effect on frozen food quality. *Foods*, 10(2), 447. <https://doi.org/10.3390/foods10020447>

Ruiz-Cabrera, M. A., & Schmidt, S. J. (2015). Determination of glass transition temperatures during cooling and heating of low-moisture amorphous sugar mixtures. *Journal of Food Engineering*, 146, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.023>

Shi, Q., Lin, W., Zhao, Y., & Zhang, P. (2015). Thermal characteristics and state diagram of *Penaeus vannamei* meat with and without maltodextrin addition. *Thermochimica Acta*, 616, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.08.016>

- Stępień, A., Witczak, M., & Witczak, T. (2022). Thermal characteristics, sorption isotherms and state diagrams of freeze-dried pumpkin–inulin powders. *Molecules*, 27(7), 2225. <https://doi.org/10.3390/molecules27072225>
- Sun, L., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2023). Regulating ice formation for enhancing frozen food quality: Materials, mechanisms and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 139, Article 104116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.013>
- Syamaladevi, R. M., Manahiloh, K. N., Muhunthan, B., & Sablani, S. S. (2011). Understanding the influence of state/phase transitions on ice recrystallization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during frozen storage. *Food Biophysics*, 7(1), 57–71. <https://doi.org/10.1007/s11483-011-9243-y>
- Tamilmani, P., & Pandey, M. C. (2016). Thermal analysis of meat and meat products. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123, 191–203. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4696-8>
- Tan, N. P. J., Graça, J., & Hopwood, C. J. (2025). Familiarity and satisfaction with plant-based meat alternatives around the world. *Future Foods*, 11, Article 100597. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100597>
- Tomar, G. S., Seri, M., Gundogan, R., Cavdar, H., & Karaca, A. C. (2024). Freezing of meat, poultry, and seafoods. In S. M. Jafari & H. Rostamabadi (Eds.), *Unit operations and processing equipment in the food industry: Low-temperature processing of food products* (pp. 225–258). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818733-3.00012-6>
- Wang, Y., Liang, H., Xu, R., Lu, B., Song, X., & Liu, B. (2020). Effects of temperature fluctuations on meat quality and muscle microstructure of frozen beef. *International Journal of Refrigeration*, 116, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.12.025>

- Xavier, J. R., Shashikumar, S. H., Vats, D., & Chauhan, O. P. (2025). Future trends in plant-based meat: Consumer perception, market growth and health benefits. *Future Foods*, 11, Article 100551. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100551>
- Yu, H., Yang, S., Yuan, C., Hu, Q., Li, Y., Chen, S., & Hu, Y. (2018). Application of biopolymer for improving the glass transition temperature of hairtail fish meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 1437–1443. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8611>
- Yu, Y., Wassmann, B., Lanz, M., & Siegrist, M. (2025). Willingness to consume cultured meat: A meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 164, Article 105226. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105226>
- Zahniser, S., & Hansen, J. (2024). *Meat consumption in Mexico, led by poultry, will continue rising over next decade: USDA projections show*. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2024/august/meat-consumption-in-mexico-led-by-poultry-will-continue-rising-over-next-decade-usda-projections-show>
- Zhang, L., Li, Q., Hong, H., & Luo, Y. (2020). Prevention of protein oxidation and enhancement of gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi by addition of protein hydrolysates derived from surimi processing byproducts. *Food Chemistry*, 316, 126343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126343>
- Zhang, R., Realini, C. E., Kim, Y. H. B., & Farouk, M. M. (2023). Challenges and processing strategies to produce high-quality frozen meat. *Meat Science*, 201, Article 109311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109311>
- Zhang, Y., Kim, Y. H. B., Puolanne, E., & Ertbjerg, P. (2022). Role of freezing-induced myofibrillar protein denaturation in the generation of thaw loss: A review. *Meat Science*, 190, Article 108841. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108841>

Reporte de similitud

MARICELA REYES HERNANDEZ

ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE ESTADO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE MATRICES PROTEIC...

 Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:540916872

43 páginas

Fecha de entrega

15 dic 2025, 12:45 p.m. GMT-6

9673 palabras

Fecha de descarga

15 dic 2025, 1:03 p.m. GMT-6

54.988 caracteres

Nombre del archivo

TESIS-MRH (1).docx

Tamaño del archivo

1.1 MB



Página 2 de 47 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:540916872

14% 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 10 palabras)
- Abstract
- Methods and Materials

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet

2% Publicaciones

0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

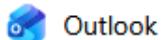
No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

Reseña del artículo: Thermal characterization and state diagrams of chicken and pork meat powders with different maltodextrin weight fractions

El artículo correspondiente a este trabajo fue enviado para su publicación a una revista científica indexada (ANEXO).



Editor handles FOODRES-D-25-16233

Desde em.foodres.3ba7.97a4dc.01a19eeb@editorialmanager.com
<em.foodres.3ba7.97a4dc.01a19eeb@editorialmanager.com>
en nombre de
Anderson de Souza Sant'Ana <em@editorialmanager.com>
Fecha Dom 23/11/2025 08:10 PM
Para MIGUEL ANGEL RUIZ CABRERA <mruiz@uaslp.mx>

Ms. Ref. No.: **FOODRES-D-25-16233**

Title: Thermal characterization and state diagrams of chicken and pork meat powders with different maltodextrin weight fractions
Food Research International

Dear Dr. Miguel Angel Ruiz Cabrera,

Your submission entitled "Thermal characterization and state diagrams of chicken and pork meat powders with different maltodextrin weight fractions" will be handled by an Associate Editor.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Editorial Manager as an author.
The URL is <https://www.editorialmanager.com/foodres/>.

Your username is: mruiz@uaslp.mx

If you need to retrieve password details, please go to: [click here to reset your password](#)

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Food Research International

#AU_FOODRES#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. ([Remove my information/details](#)). Please contact the publication office if you have any questions.

Food Research International

Thermal characterization and state diagrams of chicken and pork meat powders with different maltodextrin weight fractions

--Manuscript Draft--

| | |
|-----------------------|---|
| Manuscript Number: | |
| Article Type: | Research Paper |
| Section/Category: | Food Engineering and Materials Science of Foods |
| Keywords: | Maltodextrin; meat powders; glass transition; state diagram; thermal stability; MDSC; maximally freeze-concentrated matrix |
| Corresponding Author: | Miguel Angel Ruiz Cabrera Universidad Autonoma de San Luis Potosi Facultad de Ciencias Químicas MEXICO |
| First Author: | Maricela Reyes-Hernández |
| Order of Authors: | Maricela Reyes-Hernández Alicia Grajales-Lagunes Cecilia Rivera-Bautista Jaime Reyes-Hernández Miguel Abud-Archila Miguel Angel Ruiz Cabrera |
| Abstract: | This study evaluated the effects of maltodextrin weight fractions (WMD=0, 0.4, 0.8) on the thermal stability and thermal transitions (T_g , T_g' , T_m and T_m') of chicken and pork meat powders. The samples were defatted, freeze-dried, adjusted to controlled moisture contents, and subjected to thermogravimetric analysis (TGA) and conventional/modulated differential scanning calorimetry (DSC/MDSC). TGA analysis revealed that maltodextrin slightly increased the decomposition onset temperature (T_d onset) in pork and chicken, from 184.7 °C to 190.4 °C, with reduced initial mass losses, thereby increasing the thermal stability of the matrices. In samples with freezable water (30–90% wet basis), DSC revealed systematic increases in the characteristic parameters of the maximally freeze-concentrated phase, with WMD increasing T_g' from -21.8 to -13 °C, T_m' from -12.0 to -7.0 °C and W_s' from 0.753 to 0.871 (g solid/g sample). In samples containing unfreezable water, MDSC characterized the glass transition from protein denaturation. The T_g of the meat powders increased from 33.4 to 45.6 °C when WMD varied from 0 to 0.8. The state diagrams fitted with the Gordon-Taylor and Chen equations ($R^2 > 0.723$, $SSE < 44.8$) revealed upward shifts in all the transitions with increasing WMD. Overall, maltodextrin significantly improved the thermal stability, reduced the amount of freezable water, and increased T_g' , T_m' and T_g with improvements in the resulting state diagrams, highlighting its suitability as a functional stabilizer in frozen and dehydrated meat systems. |