Eje 2

Nuevas tendencias

Capítulo **2.1**

Sustentabilidad agroalimentaria: preservación Isocórica y el trinomio agua-energía-alimentos

Abril Adriana Angulo Sherman[1]
Blanca Rocio Serafín García[2]
Espicio Monteros Curiel[3]

https://doi.org/10.61728/AE24004282

[1] Profesora investigadora del Departamento de Estudios del Agua y de la Energía del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara. e-mail: abril.angulo@academicos.udg.mx

[2] Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería en Energía, Centro Universitario de Tonalá. e-mail: blanca.serafin4237@alumnos.udg.mx

[3] Profesor investigador del Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara. e-mail: espicio.monteros@academicos.udg.mx

Introducción

La población mundial incrementa constantemente y en conjunto la demanda para cubrir sus necesidades básicas. Esto incluye a los alimentos, que son recursos imprescindibles para las poblaciones, la distribución de alimentos a nivel global no es equitativa y en muchos casos se requiere del uso de tecnologías para poder llevar los mismos desde su lugar de producción a un destino dónde serán consumidos (FAO, 2012). Entre estas tecnologías es importante considerar las relacionadas con su almacenamiento prolongado, algunas de ellas consisten en poder almacenar a temperaturas más frescas los productos con el propósito de inhibir el proceso de descomposición natural de los alimentos (Energy, S., 2012).

Ocasionalmente el rango de temperatura utilizando para su preservación se extiende por debajo de los 0°C, sin embargo los procedimientos que se siguen para alcanzar este rango implican el uso de sustancias con propiedades anticongelantes; que pueden ser tóxicas, y unidades de presurización y enfriamiento especializadas, todo lo anterior conlleva un incremento en los costos asociados al alimento (Energy, S., 2012). Además, derivado de la presencia de cristales de hielo intracelulares y extracelulares es posible que algunos aspectos asociados a la calidad de los alimentos y sus propiedades organolépticas se vean afectados (Angulo, A., 2014; Coriell, L. et al., 1964), dando como resultado un producto de menor calidad comparado con un alimento fresco.

La mejora en tecnología de esta área se encuentra en continuo desarrollo para lograr procesos que brinden tanto calidad como un bajo costo energético (Energy, S., 2012). En particular, teóricamente el proceso de preservación isocórica podría ofrecer productos de calidad, reduciendo el costo energético, lo anterior porque el rango de temperatura para un proceso isocórico se encuentra entre los 0 y -20°C, en particular, los mejores resultados para los alimentos se han encontrado en el rango de 0°C a -8°C, valores que se alejan de la temperatura de un congelador (<-18°C) y pudieran representar un ahorro significativo (Chavez-Quesada, J. y Acos-

ta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023). Además, en el caso de los alimentos pueden reducir el uso de algunos insumos químicos que se requieren durante la congelación de alimentos. De esta manera, desarrollando conocimiento sobre ciencia del agua y su comportamiento anómalo es posible mejorar la calidad durante la preservación de los alimentos, mientras se mejora la eficiencia energética. Así, se establece la relación de estos contenedores y el trinomio Agua-Energía-Alimentos, y se evidencia como estos contenedores y su aplicación en la preservación isocórica de alimentos promueve el desarrollo sostenible.

El trinomio agua-energía-alimentos

Al hablar del trinomio agua-energía-alimentos, se hace referencia a la interdependencia y conexión que existe entre tres recursos fundamentales para el desarrollo sostenible (agua, energía y alimentos). Estos recursos se encuentran vinculados estrechamente entre sí, de tal manera que las acciones ejercidas en alguno de ellos, pueden tener impacto sobre las otras dos. Es por ello por lo que su gestión debe realizarse de forma integral para abordar desafíos globales como la seguridad alimentaria.

Las interconexiones entre los recursos del trinomio pueden ser cuantiosas, sin embargo, en este capítulo es importante enfocarnos en los siguientes aspectos:

a) Es importante destacar la creciente demanda de estos recursos por parte de la población mundial; cuyo incremento va de la mano con el crecimiento de la misma (FAO, 2012; Rios, M., y Kaltschmitt, M., 2013).
b) El agua no solamente es requerida para la producción de los alimentos, sino que es comerciada de manera indirecta a través de muchos de ellos.
c) La eficiencia energética en la cadena alimentaria es esencial, en función de que su producción, procesamiento y distribución requieren energía; en este trabajo nos enfocaremos en aspectos particulares del almacenamiento y distribución de los mismos (Energy, S., 2012).
d) Los alimentos ven afectada su calidad y propiedades organolépticas con el paso del tiempo como consecuencia natural del envejecimiento, lo que implica que no poseen la misma calidad que el producto original, los procesos asociados a su almacenamiento y distribución pretenden retardar el envejecimiento y mantener su calidad, sin embargo la calidad dependerá del método de preservación elegido, incluyendo aquellos que implican el

uso de aditamentos y sustancias que pueden resultar perjudiciales a la salud (Energy, S., 2012).

El Hambre Cero

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), representan los desafíos globales que existen y que mundialmente deben ser atendidos de manera que sea posible desarrollar un equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental (Naciones Unidas, 2015-a). Entre ellos es posible encontrar como segundo ODS al Hambre Cero, que promueve lograr la seguridad alimentaria, la nutrición mejorada y la promoción de la agricultura sostenible; este objetivo, refleja como el hambre y la malnutrición son problemas complejos que requieren enfoques integrales y sostenibles (Naciones Unidas, 2015-b). La atención del segundo ODS requiere una propuesta de solución que vaya más allá de garantizar la disponibilidad de alimentos y considere en detalle los aspectos relacionados a su producción, almacenamiento y distribución al usuario final, además de como la calidad de los alimentos se ve afectada con el paso del tiempo desde su obtención en el campo hasta llegar a las manos del consumidor.

Entre las alternativas para la preservación de alimentos podemos encontrar aquellos que pretenden retardar o inhibir su degradación a través del control de temperatura; la refrigeración y la congelación. La primera consiste en almacenar los alimentos en bajas temperaturas por encima de los 0°C, lo que ralentiza el crecimiento de bacterias y microorganismos que causan la descomposición. La segunda permite almacenar los alimentos en temperaturas por debajo de los 0°C inhibiendo el crecimiento de bacterias y la actividad enzimática, lo que permite un almacenamiento por períodos más prolongados comparada con la refrigeración (Energy, S., 2012). La elección de estos procesos de preservación en frío depende del tipo de alimento que se pretende conservar, la duración del almacenamiento y las características esperadas para el producto final; para ilustrar mejor las diferencias entre ambas, se presenta una tabla comparativa de algunas características relevantes de ambos procesos.

Tabla 1
Cuadro comparativo entre el proceso de refrigeración y el de congelación

Características	Refrigeración	Congelación
Temperatura de almacenamiento	Alrededor de 0-4°C	Menos de -18°C
Retención de nutrientes	Retiene mejor los nutrientes en comparación con la congelación	Puede haber pérdida de algunos nutrientes debido a la formación de cristales de hielo
Velocidad de conservación	Más lenta, adecuada para alimentos perecederos con una vida útil más corta	Más rápida, preserva la textura y sabor de los alimentos, mejor para almacenamiento a largo plazo
Efecto sobre la textura	Mantiene la textura original mejor que la congelación	Puede afectar la textura de ciertos alimentos, especialmente frutas y verduras frescas
Alimentos adecuados	Adecuada para productos lácteos, frutas, verduras y carnes con un período de almacenamiento corto	Ideal para carnes, pescados, pan, productos horneados y productos congelados que se almacenan por más tiempo
Inhibición del crecimiento bacteriano	Ralentiza el crecimiento bacteriano pero no lo detiene completamente	Detiene el crecimiento bacteriano y la actividad enzimática
Espacio de almacenamiento	Requiere menos espacio en comparación con la congelación	Requiere más espacio debido a la formación de hielo en los alimentos
Preparación y sabor	Preserva mejor el sabor original de los alimentos	Puede afectar la textura y sabor de algunos alimentos
Ciclo de descongelación	No se requiere descongelación antes de consumir	Puede requerir descongelación antes de cocinar o consumir, dependiendo del alimento

Fuente: elaboración propia, 2024.

En particular, el mayor factor que influencia la calidad de los alimentos cuando son congelados, se encuentra relacionado con la hidratación que poseen. Cuando la temperatura alcanza valores por debajo del punto de congelamiento es posible que se formen pequeñas estructuras (microscópicas) de hielo I hexagonal, la estructura de hielo más abundante en la naturaleza (Angulo, A., 2014; Coriell, L. et al., 1964). Debido a sus propiedades este arreglo cristalino posee una densidad menor a la del agua en estado líquido, lo que ocasiona que ocupe un volumen mayor, como consecuencia de la cristalización es posible que se generen diferentes condiciones adversas, como desbalance osmótico, deshidratación, ruptura de la membrana celular, desnaturalización de biomoléculas, entre otras (Angulo-Sherman, A., Mercado-Uribe, H., 2013; Salinas-Almaguer, S., et al., 2015; Angulo-Sherman, A., 2019).

Se ha observado que es posible regular el proceso de cristalización en diversas formas, por ejemplo: regulando la taza de enfriamiento para promover los procesos rápidos, o la inclusión de sustancias que sirven como anticongelantes para inhibir el proceso de nucleación que forma cristales (Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023). Lo anterior ha llevado al desarrollo de diferentes tecnologías y procesos de congelación cuya aplicación depende en particular de las características del alimento y la tolerancia que muestra a las condiciones empleadas. La mayor parte de los procesos de congelamiento suceden en condiciones isobaras, esto es, a la presión del ambiente, sin embargo existe un procedimiento conocido como Congelamiento a alta presurización o HPF (High-Pressure Freezing), en el que alimentos líquidos son presurizados a cerca de 270 MPa y posteriormente son enfriados hasta alcanzar los -20°C. Una vez que han alcanzado esa temperatura se despresurizan de golpe y se genera un efecto de congelamiento instantáneo (Le Bail, A., et al., 2002; Sanz, P.D., y Otero, L., 2014; Angulo, A., 2014; Angulo-Sherman, A., 2019).

Fundamentos de la preservación isocórica

En la última década se han publicado diversos trabajos que han probado las condiciones isocóricas de almacenamiento en frío tratando de describir lo que sucede al interior de un contenedor isocórico y las condiciones que

inhiben y promueven el daño en tejido biológico por congelamiento (Rubinsky, B., et al., 2005; Wan, L., et al. 2019).

Un contenedor isocórico se propone como aquel que tiene la capacidad de impedir que la sustancia que se encuentra en su interior cambie su volumen, cuando existen cambios en otras variables termodinámicas como la presión o la temperatura. El agua posee una propiedad singular en comparación con otras sustancias cuando pasa de su estado líquido al sólido, mientras la mayor parte de las sustancias tienden a reducir el volumen que ocupan, el agua lo incrementa en su transición del estado líquido al hielo I hexagonal (hielo Ih), la estructura más abundante en la naturaleza; pudiendo incrementar su volumen hasta un 10 % del tamaño original (Angulo-Sherman, A. y Mercado-Uribe, H., 2013; Angulo-Sherman, A., 2019). Típicamente cuando el agua se congela en un contendor cualquiera, como una tubería de agua, tiene la capacidad de vencer la resistencia mecánica del contenedor y lo rompe, esto se atribuye a la alta presión que se puede suscitar durante la solidificación (Angulo-Sherman, A., 2019).

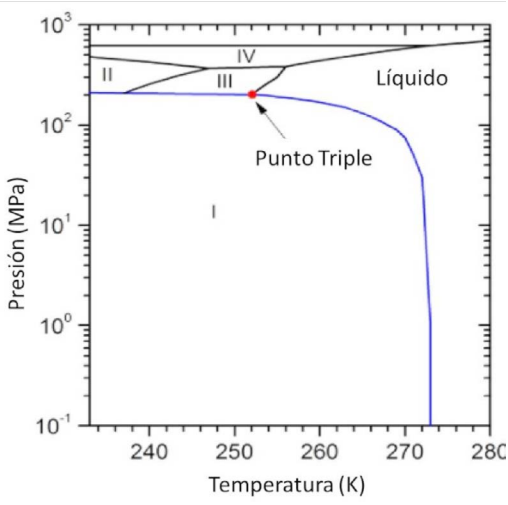
Un contenedor isocórico está diseñado de tal manera que sus paredes son lo suficientemente rígidas para tolerar la presión intrínseca que se genera en el agua y no ceder (romperse) cuando la misma debería iniciar el proceso de solidificación; esto inhibe el proceso de nucleación por lo que el agua permanece en estado líquido. Lo anterior puede explicarse a través del principio de L'Chatelier; que establece que cuando un sistema que se encuentra en equilibrio se ve perturbado por cualquier cambio aplicado a sus condiciones (concentración, presión, temperatura o volumen), entonces el sistema buscará restablecer el equilibrio contrarrestando la perturbación a través de las variables restantes (Preciado, J., 2007; Angulo-Sherman, A. y Mercado-Uribe, H., 2013, Angulo, A., 2014).

En el caso del agua en el contenedor isocórico, la concentración y el volumen son constantes, por lo que no pueden cambiar, por lo que al ir bajando la temperatura, la presión va incrementando de forma significativa. Teóricamente, la presión incrementa siguiendo la línea de transición de fase entre el estado líquido y el estado sólido (figura 1), hasta llegar al punto triple líquido-hielo Ih-hielo III, en el cual el agua es capaz de nuclear en ambos hielos, puesto que el hielo III ocupa un volumen menor, cediendo el espacio necesario para que la nucleación de hielo Ih pueda suceder (Angulo-Sherman, A. y Mercado-Uribe, H., 2013).

Es importante comprender que estos contenedores deben ser diseñados considerando las altas presiones que deben tolerar (<300 MPa), por lo que el diseño y los materiales elegidos para su construcción deben adecuarse a su propósito, algunos de los aceros de grado alimenticio podrían ajustarse a esta demanda.

Figura 1

Diagrama de fases del agua dónde se destaca la línea de transición de fases entre el estado líquido y el hielo Ih (línea azul) y el punto triple del agua en estado líquido-hielo Ih-hielo III (punto rojo)

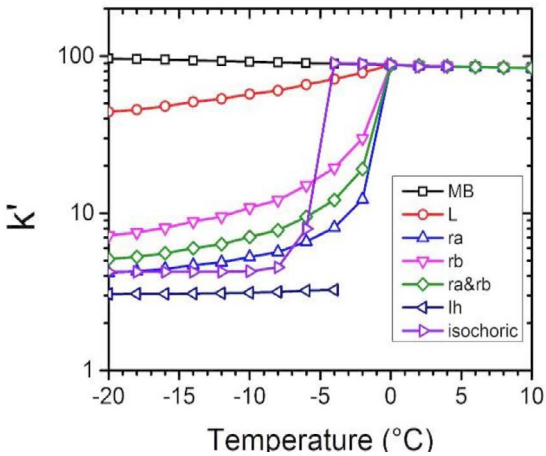


Fuente: Angulo-Sherman, A., 2019.

Sin embargo, como se aprecia en la figura 2, experimentalmente se ha observado que parece existir un proceso de nucleación no identificado a partir de los -6°C, que incrementa hasta alcanzar los -8°C, donde se vuelve estable para temperaturas inferiores (Angulo-Sherman, A., 2019). Dicho proceso, a pesar de haber sido detectado no ha sido identificado de forma inequívoca con alguna estructura conocida del hielo de acuerdo con el diagrama de fases de la sustancia.

Figura 2

Análisis a través de la constante dieléctrica del agua (k') para determinar la temperatura en que inicia el proceso de nucleación en un contenedor isocórico experimentalmente (línea morada), comparado con los valores para el estado líquido (línea negra) y el hielo ih (línea azul oscuro), así como varias propuestas teóricas de procesos de nucleación.



Fuente: Angulo-Sherman, A., 2019.

Estos contenedores entonces tienen la capacidad de permitir disminuir la temperatura a rangos equivalentes al congelamiento, permitiendo aprovechar sus ventajas de inhibición de los procesos metabólicos, pero evita el proceso de nucleación; el asociado a los efectos adversos del congelamiento en productos biológicos. Las condiciones anteriores pueden mantenerse en un rango de -6 a 0°C, y se han obtenido resultados para diferentes tipos de materiales de origen biológico, como tejidos, bacterias y alimentos (Wan, L., et al., 2018, Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023).

En particular, el caso de los alimentos ha tomado particular relevancia durante el año 2023, tratando de identificar diferentes alimentos que puedan ser sujetos a este tipo de preservación, pudiendo ofrecer mejores resultados de preservación si se les compara con otros procesos de congelamiento (Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023). Además entre las ventajas que se pueden obtener de este

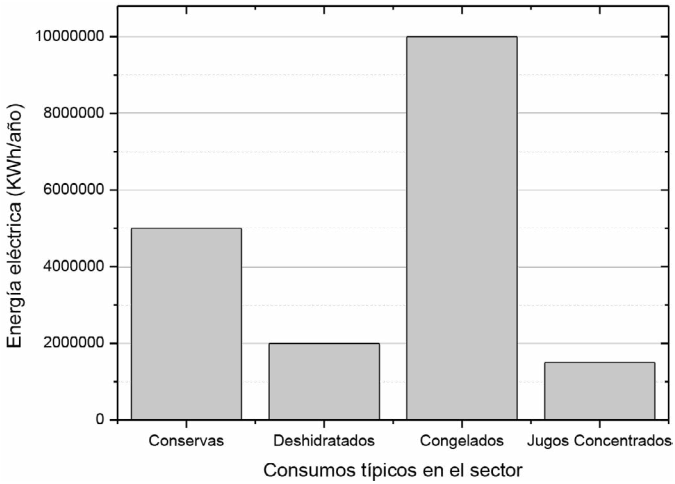
proceso se encuentra que solo se requiere de agua como medio para preservación, sin algún tipo de sustancia que funcione como anticongelante; también, el rango de temperatura requerido es muy cercano al que pueden ofrecer unidades comerciales de enfriamiento como las que se utilizan en los congeladores que acompañan a un refrigerador (Powell-Palm, M. J. y Rubinsky, B., 2019; Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023).

Demanda energética de un proceso de congelamiento

Los procesos de preservación a través del congelamiento pueden resultar costosos energéticamente (Energy, S., 2012; Powell-Palm, M. J. y Rubinsky, B., 2019; Chávez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023). El costo muchas veces estará relacionado con las características del alimento a preservar, el método de congelación y la temperatura del mismo, la duración del proceso, la eficiencia energética y de enfriamiento del equipo y el tiempo que requiere el proceso para llevarse a cabo.

El consumo que un proceso de congelamiento representa en comparación con el de otros procesos de la industria alimentaria es significativamente superior; por ejemplo, como se muestra en la gráfica de la figura 3 se presentan los resultados publicado en el Manual de eficiencia energética en la industria de alimentos elaborados, publicados en 2011; dónde la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) reportó los resultados de un estudio realizado a 20 plantas de alimentos durante los años 2010 y 2011, en los mismos se presenta una estimación del consumo energético de acuerdo con el proceso de preservación, el asociado al congelamiento es considerablemente alto comparado con los de otros procesos (Energy, S., 2012).

Figura 3
Gráfica que compara el consumo energético que representan diferentes procesos de preservación en la industria alimentaria



Fuente: Energy, S., 2012.

Se debe destacar que esta área se encuentra en continuo desarrollo para mejorar en términos de eficiencia energética; de tal forma que el sector alimentario procura la optimización de los procesos de congelación para minimizar el consumo energético. Lo anterior contribuye a la reducción del impacto ambiental y los costos asociados.

Es considerando lo anterior que la preservación isocórica se presenta como una alternativa para mejorar la eficiencia energética en la preservación por congelamiento, sin embargo, aún se requiere estudiar el proceso para poder conocer las condiciones específicas para su aplicación de manera industrial.

Metodología

Para evaluar las ventajas de la preservación isocórica en comparación con otros métodos utilizados en la cadena de frío para la preservación de alimentos, se llevó a cabo una búsqueda detallada de artículos de investigación relevantes. La búsqueda se centró en publicaciones desde el año 2019 hasta febrero de 2024, con el objetivo de obtener información pertinen-

te y actualizada a partir de la información devuelta por Google Scholar, Scopus, PubMed e Ingenta, a las palabras clave: preservación isocórica o isochoric preservation.

Debido a que la aplicación de esta tecnología no se limita a alimentos, se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

a) Se incluyen las publicaciones entre el 2019 e inicios de 2024.
b) Los artículos considerados deben enfocarse en experimentos con alimentos y patógenos relacionados con la seguridad alimentaria.
c) Se excluyeron los trabajos enfocados en tejidos o cortes histológicos, o sobre viabilidad de gametos o cultivos; cualquier estudio no relacionado o que no brinde información relevante sobre alimentos.
d) Se incluyen artículos publicados en español o inglés, excluyendo los trabajos en cualquier otro idioma.

De las publicaciones seleccionadas se recuperó información sobre el tipo de alimento o patógeno analizados. Se consideraron las condiciones de almacenamiento y su rango de temperatura; también, los efectos posteriores al almacenamiento reportados para las muestras, en particular los asociados a la calidad y seguridad alimentaria. La figura presenta de forma resumida la metodología propuesta para este trabajo.

Figura 4
Metodología para seleccionar y clasificar la información presentada en la sección de resultados

Fuente: elaboración propia, 2024.

Los resultados obtenidos en los estudios revisados se sintetizaron para presentar los hallazgos obtenidos hasta la fecha y facilitar que se visibilicen

las ventajas potenciales, así como desventajas, de la preservación isocórica, los hallazgos se desglosan en la siguiente sección.

Resultados obtenidos utilizando contenedores isocóricos

A pesar de que las condiciones isocóricas se han propuesto desde el año 2000, las mismas fueron probadas en una variedad limitada de modelos de estudios que abarcan cultivos biológicos, gametos, órganos (ratón) y algunos alimentos; hasta poco antes del 2020 (Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023). Dichos modelos pretendían probar la viabilidad de este proceso, sin embargo, resulta necesario realizar experimentos más específicos, que permitan determinar las condiciones apropiadas para casos y modelos más generales, de manera que pueda predecirse el efecto por ejemplo en diferentes alimentos dependiendo de sus características; es decir, no podemos esperar el mismo resultado para un trozo de sandía que para una hoja de espinaca, porque su hidratación, textura, etc. se pueden ver afectados de forma diferente por las condiciones de presurización previamente mencionadas.

Es por ello por lo que debe destacarse que el número de publicaciones sobre preservación isocórica orientada a diferentes alimentos aumentó después de 2020; en particular en el transcurso de los dos últimos años, tratando de validar el proceso de forma específica para diferentes tipos de alimentos (Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023). Estos estudios consideran de forma independiente diferentes propiedades; incluyendo algunas organolépticas, como la deshidratación, firmeza, textura, coloración, aroma, entre otras. También es importante destacar que en algunos casos en lugar de agua se utilizan soluciones isotónicas, con la intención de poder regular de forma más específica el proceso de nucleación.

Entre los resultados que se han obtenido para diferentes muestras se encuentran la tabla 2:

Tabla 2
Resumen de resultados obtenidos durante la preservación isocórica de los diferentes alimentos

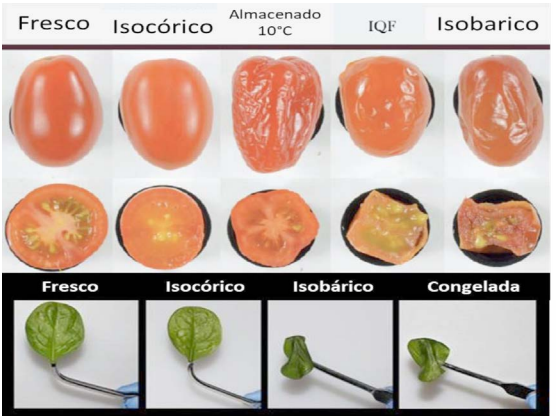
Objetos de estudio	Condiciones de almacenamiento isocórico	Aspectos relevantes.
Papa	-3 a -5 °C 1 – 7 días	La pérdida de masa, cambio de coloración y textura son mínimas.
Tomate	-2.5 °C 1 – 7 días	La pérdida de masa es menor comparada con otras congelaciones, presenta un ligero cambio de coloración. Preserva sus propiedades nutrimentales como los carotenoides.
Espinaca	-3 a -5 °C 1 – 7 días	El cambio de masa es menor comparada con otros procesos, presenta cambio en su coloración y textura, aunque existe evidencia de que se previene el daño celular. Logra conservar parte de sus propiedades nutrimentales.
Cereza	-4 a -7 °C 1 – 7 días	Su cambio de masa es pequeño, en apariencia no hay cambios significativos en su coloración. Logra preservar su valor nutrimental.
Granada	-2.5 °C	Logra preservar su textura. Reduce la carga microbiana.
Carne	-4 a -8°C	Conserva sus propiedades de calidad.
Pescado	-5 °C	Conserva su textura. Reduce la carga microbiana.

Fuente: Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023.

Entre estos resultados es importante destacar que las temperaturas a las que se someten las muestras, si bien se encuentran debajo del punto de fusión, el rango de temperaturas es específico para la muestra y se encuentra por encima del rango de temperaturas en los que operan las unidades domésticas, más aún si se les compara con las unidades comerciales o industriales. Además, en algunos de los casos los resultados pueden percibirse de forma directa como se aprecia en la figura 5, donde la apariencia del producto preservado isocóricamente corresponde mejor a la de un producto fresco en comparación con los sometidos a otros procesos.

Figura 5

Resultados de investigaciones realizadas con tomates y espinacas, dónde se aprecia como las muestras conservadas isocoricamente se asemejan más a las frescas



Fuente: Bilbao-Sainz, C., et al., 2020, 2021.

Además, existen trabajos donde se ha experimentado el efecto de estas condiciones en algunos ejemplos de patógenos que ocasionalmente acompañan a los alimentos (Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023), probando que en algunos casos como el de Escherichia coli, es posible inactivar a las bacterias, como se muestra en la Tabla 3 y que coinciden con investigaciones previas (Salinas-Almaguer, S., et al., 2015; Powell-Palm, M.J., et al., 2018). Lo anterior puede ser atractivo porque en conjunto con la preservación, podría ser posible la inactivación de diferentes bacterias en el proceso, sin embargo se requiere extender el número de estudios y condiciones de almacenamiento para identificar de

forma específica aquellas que podrían aplicarse para obtener mejores condiciones de seguridad alimentaria.

Tabla 3
Resultados obtenidos aplicando almacenamiento isocórico en patógenos biológicos

Objetos de estudio	Condiciones de almacenamiento isocórico	Aspectos relevantes
Escherichia coli	-15°C a -20°C 1 día	Cultivos no viables en condiciones de preservación entre -15 a -20°C. Eliminación de bacterias en un rango entre -15 y -16°C.
Salmonella Typhimurium	-15 °C 1 día	Son capaces de sobrevivir a las condiciones de almacenamiento isocórico.
Listeria monocytogenes	-15 °C 1 día	Son capaces de sobrevivir a las condiciones de almacenamiento isocórico.

Fuente: Chavez-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O., 2023; Dhanya, R. et al., 2023.

Conclusiones

La preservación isocórica es una técnica novedosa entre aquellas que se utilizan para la preservación de alimentos en temperaturas de congelamiento. Entre las ventajas que se vislumbran se encuentran la preservación de productos con mayor calidad e inocuidad y el incremento en eficiencia energética, lo que reduce el consumo energético y podría en algunos casos traducirse a un ahorro económico. Todo lo anterior gira en torno al conocimiento del comportamiento anómalo del agua, de tal manera que una investigación más detallada sobre estos temas permitiría la mejor comprensión de lo que sucede al interior de un contenedor isocórico, así como la identificación de rangos de temperatura prometedores que permitan lograr la mejor preservación posible de acuerdo con las características de los alimentos, el tipo de materiales recomendables para la construcción de

los contendores y diseños que permitan su operación continua tolerando las condiciones de alta presión en su interior.

Los contenedores isocóricos ejemplifican como el conocimiento sobre ciencia del agua, permite proponer estrategias que impactan sobre la mejora en la preservación de alimentos, pudiendo reducir el costo energético; contribuyendo dentro del trinomio agua-energía-alimentos. Además, a través de ellos es posible plantear nuevas estrategias que reduzcan el consumo energético en la industria alimentaria, pudiendo potencialmente impactar en los ODS.

Referencias bibliográficas

Angulo, A. (2014). Transporte iónico y relajación dieléctrica de agua y mezclas de agua y glicerol en condiciones isocóricas. (Publicación No. 3248) [Disertación de tesis Doctoral, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I. P. N., Monterrey]. Repositorio CINVESTAV. https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/3248

Angulo-Sherman, A. (2019). Isochoric Containers and Its Frontier Between Cryopreservation and Sterilization. Cryoletters, 40(1), 51-57. https://scholar.google.com.mx/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=Fe_Nm8gAAAAJ&citation_for_view=Fe_Nm8gAAAAJ:qjMakFHDy7sC

Angulo-Sherman, A., & Mercado-Uribe, H. (2014). Water under inner pressure: A dielectric spectroscopy study. Physical Review E, 89(2), 022406. https://www.researchgate.net/profile/H-Mercado-Uribe/publication/262982506_Water_under_inner_pressure_A_dielectric_spectroscopy_study/links/55880c8008ae65ae5a4def6a/Water-under-inner-pressure-A-dielectric-spectroscopy-study.pdf

Bilbao?Sainz, C., Sinrod, A. G., Dao, L., Takeoka, G., Williams, T., Wood, D., & McHugh, T. (2020). Preservation of spinach by isochoric (constant volume) freezing. International Journal of Food Science & Technology, 55(5), 2141-2151. https://www.researchgate.net/publication/337610137_Preservation_of_spinach_by_isochoric_constant_volume_freezing

Bilbao-Sainz, C., Sinrod, A. J. G., Dao, L., Takeoka, G., Williams, T., Wood, D., Chiou, B.S., Bridges, D. F., Wu, V. C. H., Lyu, C., Powell-Palm, M. J., Rubisnky, B., & McHugh, T. (2021). Preservation of grape tomato by isochoric freezing. Food Research International, 143, 110-228. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110228

Chaves-Quesada, J., & Acosta-Montoya, O. (2023). Congelación isocórica: ventajas y oportunidades de investigación en la industria de alimentos. Agronomía Mesoamericana, 52879-52879. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/download/52879/56123/243899

Coriell, L. L., Greene, A. E., & Silver, R. K. (1964). Historical development of cell and tissue culture freezing. Cryobiology, 1(1), 72-79. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0011224064900240

Dhanya, R., Panoth, A., & Venkatachalapathy, N. (2023). *Comprehensive Review on Isochoric Freezing: A Recent Technology for Preservation of Food and Non-food Items.* Sustainable Food Technology. https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/fb/d3fb00146f

Energy, S. (2012). *Manual eficiencia energética en la industria de alimentos elaborados. Chile alimentos y ACHEE*. Disponible en [acceso 20/03/2016]: http://www.chilealimentos.com/medios/LaAsociacion/NoticiasChilealimentos2012/MANUAL_DE_Eficiencia_Energetica_Chilealimentos.pdf.

FAO. (2012). *Loss and waste of food in the world - Scope, causes and prevention.* Publication Division FAO, Rome, Italy. http://www.fao.org/3/a-i2697s.pdf

LeBail, A., Chevalier, D., Mussa, D. M., & Ghoul, M. (2002). High pressure freezing and thawing of foods: a review. *International Journal of Refrigeration,* 25(5), 504-513. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140700701000305

Naciones Unidas. (2015-a). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Naciones Unidas.* https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Naciones Unidas. (2015-b). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Naciones Unidas. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/

Powell-Palm, M. J., & Rubinsky, B. (2019). A shift from the isobaric to the isochoric thermodynamic state can reduce energy consumption and augment temperature stability in frozen food storage. *Journal of Food Engineering, 251*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.001

Powell-Palm, M. J., Preciado, J., Lyu, C., & Rubinsky, B. (2018). Escherichia coli viability in a isochoric system at subfreezing temperatures. *Cryobiology,* 85, 17–24. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2018.10.262

Preciado, J. (2007). *The Fundamentals of Isochoric Freezing and its Role in the Cryopreservation of Biological Materials* (Publication No. 3306298) [Doctoral dissertation, University of California, Berkeley]. ProQuest Dissertations and Theses Global. https://www.proquest.com/docview/304902637?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true

Rios, M., & Kaltschmitt, M. (2013). Bioenergy potential in Mexico—status and perspectives on a high spatial distribution. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 3, 239-254. https://www.researchgate.net/publication/257804054_Bioenergy_potential_in_Mexico_-_Status_and_perspectives_on_a_high_spatial_distribution

Rubinsky, B., Pérez, P. A., & Carlson, M. E. (2005). The thermodynamic principles of isochoric freezing cryopreservation. *Cryobiology, 50(*2), 121–138. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2004.12.002

Salinas-Almaguer, S., Angulo-Sherman, A., Sierra-Valdez, F. J., & Mercado-Uribe, H. (2015). Sterilization by cooling in isochoric conditions: the case of Escherichia coli. *Plos one, 10*(10), e0140882. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0140882

Sanz, P. D., & Otero, L. (2014). High-pressure freezing. In D. W. Sun (Ed.), *Emerging technologies for food processing* (pp. 515–538). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00028-0

Wan, L., Powell-Palm, M. J., Lee, C., Gupta, A., Weegman, B. P., Clemens, M. G., & Rubinsky, B. (2018). Preservation of rat hearts in subfreezing temperature isochoric conditions to – 8 °C and 78 MPa. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 496(3), 852–857. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.01.140