

Evaluating cold damage on blueberries (*Vaccinium corymbosum*) caused by different thawing methods

Evaluación del daño por frío de arándano (*Vaccinium corymbosum*) causado por diferentes métodos de descongelación

Carmen Alvarado, B.Sc.¹, Yeimy Flores, B.Sc.¹, Paola Palacios, B.Sc.¹. and Alberto Claudio Miano, Ph.D.²

¹ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada del Norte, Peru, carmen.alvarado99@outlook.com, paolapalacios8@hotmail.com, yeimy.fs@hotmail.com

² Dirección de Investigación, Innovación y Responsabilidad Social, Universidad Privada del Norte, Peru, alberto.miano@upn.edu.pe

Abstract– *The aim of this work was to evaluate the effect of thawing method to the cold damage of blueberries (*Vaccinium corymbosum*). For that, blueberries samples of “ventura” variety were frozen at -13°C for 7 days and then were thawed following 4 methods: refrigeration, air, water, and microwave. In order to evaluate cold damage, two indirect procedures were performed: studying mass transfer during drying process and by measuring drip loss by electric conductivity. As results, significant difference was found among the thawing methods, being air method the worst method since more damages causes on the berries. On the other hand, refrigeration, and water methos were the best for thawing blueberries. Therefore, avoiding structural changes.*

Keywords—freezing, thawing methods, cold damage, blueberries.

Resumen– *El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del método de descongelación en el daño por frío del arándano (*Vaccinium corymbosum*). Para ello se utilizó arándano de variedad ventura congelado a -13°C por 7 días, el cual se descongeló por 4 métodos: refrigeración, aire, agua y microondas. Para evaluar el daño se realizaron dos métodos indirectos: mediante el estudio de la transferencia de masa durante el secado y mediante la cuantificación de pérdida de sólidos por conductimetría eléctrica. Se encontró que hubo diferencias significativas entre los métodos, siendo el método por descongelación por aire el que mayor daño causó a la estructura de los arándanos, mientras que los tratamientos por refrigeración y agua fueron la mejor forma de descongelación al evitar el daño a la estructura del fruto.*

Palabras clave— congelación, métodos de descongelación, daño por frío, arándanos.

I. INTRODUCCIÓN

El arándano (*Vaccinium corymbosum*) crece en regiones frías de Norteamérica, de donde es originario. Estos son apreciados por su sabor y color intenso. Es por ello que la exportación de arándanos frescos se ha convertido en una de las principales exportaciones peruanas del sector agropecuario desde que se lanzó el programa Perú Berries en noviembre del 2011 [1]. Esto se da principalmente a la existencia de una gran demanda insatisfecha en el mundo. Además, la producción de arándanos peruanos es destinada a los mercados internacionales como EE.UU., Europa y Hong Kong. Debido al gran incremento de la demanda, actualmente en el Perú, hay cerca de 2,400 ha, resaltando la región La Libertad, que representa el 90% de la producción total nacional. La producción de arándanos se inició en el año 2010 y es que este fruto ocupa el primer lugar en el grupo de las denominadas “súper frutas” [2]. Este término hace alusión a frutas con alto potencial de brindar compuestos bioactivos.

Sin embargo, una cantidad de los frutos no logran obtener los parámetros de calidad para ser comercializados, considerándolos como parte del descarte. Esto debido al pequeño tamaño de la fruta que se traduce en una mayor relación entre área superficial y volumen, los arándanos son más susceptibles a la pérdida de agua (o deshidratación) que frutas de mayor tamaño como la manzana. Uno de los puntos más críticos para la prolongación de la vida de poscosecha de arándanos es la temperatura, la cual debe ser manejada desde el huerto al momento de la cosecha [3].

Durante el proceso de congelación, el tamaño y la posición de los cristales de hielo formados son características críticas en el deterioro de la estructura de la célula vegetal [4]. Es así, en la congelación los cristales de hielo penetran a través de la membrana celular, generando pérdida y deterioro de la estructura de la pared celular causado por el crecimiento de los cristales [5]. La velocidad de congelación determina la

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.653>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

formación y localización de los cristales; cuando la congelación es lenta hay formación de cristales grandes y el agua se sustrae del interior de la célula para ser añadida a los cristales, puede haber rompimiento de las membranas celulares internas permitiendo el contacto de enzimas y substratos. En cambio, si la congelación es rápida, se disminuye el movimiento del agua antes de que sea congelada y, por consiguiente, se generan cristales pequeños, tanto en el interior como en el exterior de la célula, con un menor deterioro del tejido vegetal [6].

La descongelación consiste en someter los alimentos congelados a procedimientos adecuados que permitan que su temperatura sea en todos sus puntos superior a la de congelación [7]. Los alimentos al descongelarse pueden perder la turgencia celular provocando flacidez, encogimiento y pérdida de textura [8]. En cuanto a la descongelación, en algunos productos cármicos se aconseja la descongelación lenta; mientras que, en otros, como en la mayoría de las verduras, se recomienda cocinarlas sin previa descongelación [9]. Estos procesos de congelamiento y posterior descongelamiento ocasionan cambios en los alimentos que modifican su aspecto y valor nutricional. Específicamente, el congelamiento genera cambios en lo que respecta al color, la humedad, densidad y la textura del alimento [10]. La descongelación se puede producir por alguno de los siguientes métodos: refrigeración, calentamiento por microondas o calentamiento convectivo, utilizando aire o agua caliente [11]. Por ejemplo, comparando la descongelación a temperatura ambiente, en un refrigerador y en microondas de algunas bayas, evidenció que el método por microondas fue afectó negativamente al contenido de vitamina C [12].

Debido que se ofrece en el mercado una variedad de frutos congelados como ballas, es importante conocer la mejor técnica de descongelación para obtener un producto de calidad. De esta manera se pueda recomendar en la etiqueta del producto, como el consumidor debe descongelar sus productos. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes métodos de descongelación en el daño por frío que pueda causar al arándano.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia prima y proceso de congelación

Para este estudio se utilizó 750 g de arándano (*Vaccinium corimbosum*) de la variedad Ventura, adquiridos del mercado central de la ciudad de Trujillo. La muestra utilizada tenía una humedad de $84.54\% \pm 3.96$. Para la congelación, se colocaron 12 muestras de 50 g cada una dentro de bolsas de polietileno de baja densidad ($0.09 \text{ cm} \pm 0.03$ de espesor). Luego, estas fueron colocadas en un congelador (ELECTROLUX, CHILE) a -13°C por 7 días.

B. Proceso de descongelación

Luego de 7 días almacenados en congelación, las muestras se retiraron de la congeladora y pasaron a descongelarse mediante 4 métodos:

1) *Descongelación por medio aire 25°C* : Se tomaron 3 bolsas de 50 g de muestra cada una. Luego se retiraron las muestras de arándano de las bolsas, y se colocaron en 3 vasos de precipitado de 250 ml respectivamente. La descongelación fue a temperatura ambiente (controlada con aire acondicionado en laboratorio) y terminó cuando la temperatura en el centro del arándano fue de aproximadamente 0°C .

2) *Descongelación en medio agua 25°C* : Este método se realizó similar a la sección 2, pero las muestras en los vasos de precipitado fueron cubiertas con agua y colocadas en un baño maría (MEMMERT, ALEMANIA) a una temperatura de 25°C .

3) *Descongelación por microondas*: Se realizó similar a la sección 2, pero reemplazando a los vasos de precipitado por placas Petri. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en un microondas (OSTER, CHILE) a una potencia de 100% ($857 \pm 20\text{W}$) durante 30 segundos, con lo cual se aseguró que la temperatura del centro de la muestra sea de 0°C .

4) *Descongelación por refrigeración*: Se tomaron 3 bolsas de 50 g de muestra cada una. Luego se colocaron en una refrigeradora (ELECTROLUX, CHILE) a 4°C . La descongelación terminó cuando la temperatura en el centro del arándano fue de aproximadamente 0°C .

C. Determinación del daño por congelación/descongelación

1) *Cinética de secado*: Para el secado se utilizó 150 g de arándano en fresco, del cual se tomaron 3 muestras de 50 g aproximadamente. Los arándanos fueron cortados por la mitad transversalmente, tal como se aprecia en la figura 1. Luego fueron colocadas en 3 mallas metálicas ($1 \times 1 \text{ cm}$ de luz) de $20 \times 26 \text{ cm}$ respectivamente. Las mallas con las muestras se colocaron en la estufa (BINDER, ALEMANIA) a una temperatura de 60°C . Las muestras fueron retiradas de la estufa cada 40 minutos y pesadas en la balanza analítica (OHAUS, MEXICO) para verificar la masa perdida en cada tiempo hasta masa constante. Luego por balance de materia, considerando la humedad inicial, se determinó la humedad a cada tiempo de proceso.

Este procedimiento se realizó para las muestras sin tratamiento (control) y para cada método de descongelado realizado con el fin de comparar sus velocidades de secado.

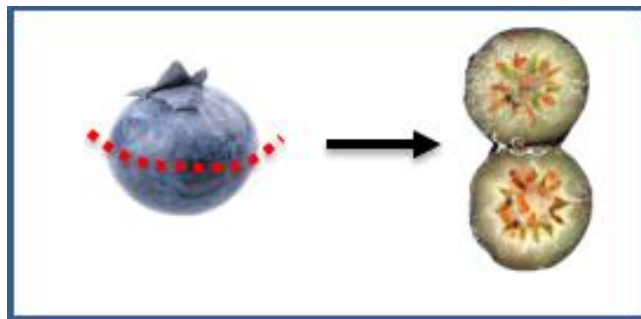


Fig. 1 Corte transversal del fruto para su deshidratado.

Para el estudio de la cinética de secado, se graficaron los datos de humedad adimensional en función del tiempo. Para

calcular la humedad adimensional se emplearon las siguientes ecuaciones (Ecuación 1, 2 y 3).

$$\%H_{bh} = \frac{(\%H \times M_{t0}) - (M_{t0} - M_{t1})(100)}{M_{t1}} \quad (1)$$

Donde: $\%H_{bh}$ es el porcentaje de humedad en base húmeda en cada tiempo de muestreo; $\%H$ es el porcentaje de humedad de la muestra inicial; M_{T0} es la masa en el tiempo cero; M_{t1} es la masa de la muestra en el tiempo de muestreo.

$$\%H_{bs} = \frac{\%H_{b,h} \times 100}{100 - \%H_{b,h}} \quad (2)$$

Donde: $\%H_{bs}$ es el porcentaje de humedad en base seca; $\%H_{bh}$ es el porcentaje de humedad en base húmeda.

$$\%H_{adi} = \frac{\%H_{bs}}{\%H_{bs\text{ inicial}}} \quad (3)$$

Donde: $\%H_{adi}$ es el porcentaje de humedad adimensional; $\%H_{bs}$ es el porcentaje de humedad en base seca en el tiempo de muestreo; $\%H_{bs\text{ inicial}}$ es el porcentaje de humedad en base seca inicial.

Las curvas de secado obtenidas experimentalmente se ajustaron a la ecuación de Page:

$$Y = e^{-k.t^n} \quad (4)$$

Donde: Y es la humedad adimensional calculada a partir de la ecuación 3; k es la constante relacionada a la velocidad de secado; n es la constante relacionada al comportamiento de secado; t es el tiempo.

Para realizar el ajuste de los datos al modelo de Page (Ecuación 4), se utilizó la herramienta Solver del programa Excel (2016). Esta herramienta ayudó a buscar el valor óptimo para cada parámetro, en este caso, k y n .

2) *Conductimetría*: La conductividad eléctrica se midió tal como lo describe Silva, et al. [13] tanto en fresco, como después de descongelado. Para ello se tomaron 3 muestras de arándano por cada método. Cada una de las muestras, previamente pesadas, fue colocada en bolsas de polietileno con 25 ml de agua destilada, y almacenados en refrigeración. Después de 24 horas, el arándano fue retirado de todas las bolsas, y el agua fue colocada en tubos de ensayo para poder medir la conductividad. La conductividad de todas las muestras se midió con ayuda del conductímetro (OHAUS, USA). Posteriormente, el porcentaje de aumento de conductividad, el cual representa el aumento de daño para los diferentes métodos, fue calculada con la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{C_f - C_i}{C_i} \times 100 \quad (5)$$

Donde: $\%C$ es el porcentaje de aumento de la conductividad; C_f es la conductividad final (descongelado)

relativo a la masa de la muestra ($\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{g}$); C_i es la conductividad inicial (fresco) relativo la masa de la muestra ($\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{g}$).

D. Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para demostrar si existía diferencia significativa entre los diferentes métodos de descongelación. Las medias fueron comparadas con test Tukey, con un nivel de confianza del 95% utilizando el software Statistica 12.0 (StatSoft, EE.UU.)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Tiempo de descongelación

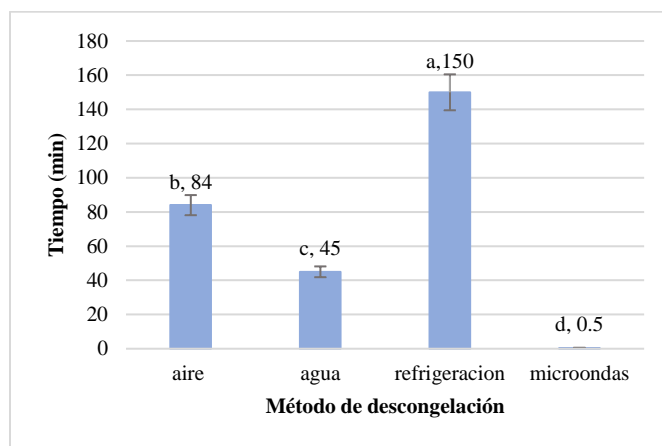


Fig. 2 Comparación respecto al tiempo de descongelamiento en los diferentes métodos

La descongelación es un proceso en el que se lleva a cabo una transferencia de calor hacia el producto alimenticio, para cambiar de estado el hielo formado en el alimento durante el proceso de congelación [14]. En la Figura 2 se puede observar que el método que más tiempo tomó en descongelarse fue el de refrigeración. Esto se debe a que la temperatura de refrigeración es más baja, y que la velocidad de transferencia de calor es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas, por lo que, al estar cerca de la temperatura de congelación, el proceso es más lento. El descongelado por microondas fue el más rápido comparado con los otros métodos, debido a que el calentamiento de adentro hacia afuera y la transferencia de calor es más eficiente. Por otro lado, la descongelación por agua fue más rápida a la descongelación por aire, esto se debe a que el agua tiene un coeficiente de transferencia de calor por convección mayor a la del aire presentando una mayor viscosidad comparada a la del aire.

B. Determinación del daño por descongelamiento a través de la cinética de secado

El modelo de page ajusta adecuadamente a los datos del secado, teniendo un coeficiente de determinación mayor a 0.90. Estos mismos resultados obtuvieron con otro tipo de frutas. Por

ejemplo, el modelo de Page ajustó adecuadamente en la cinética de secado de cupuacu [15], yacón [16] y piña [17]. En la figura 3 se muestran las curvas de cinética de secado. Se puede observar que no hay una diferencia apreciable en las cinéticas de secado de los cuatro tratamientos realizados. En contraste, en otro trabajo se evaluó el efecto de la congelación/descongelación y secado asistida por microondas, se observó que el arándano en congelación/descongelación redujo el tiempo de secado hasta en un 29% y el consumo de energía de secado hasta en un 27% en comparación con el secado de la muestra fresca [18]. Sin embargo, se debe dejar claro que el método de secado evaluado fue por aire caliente y en el otro por microondas, los cuales cuentan con mecanismos de transferencia de calor y materia diferentes.

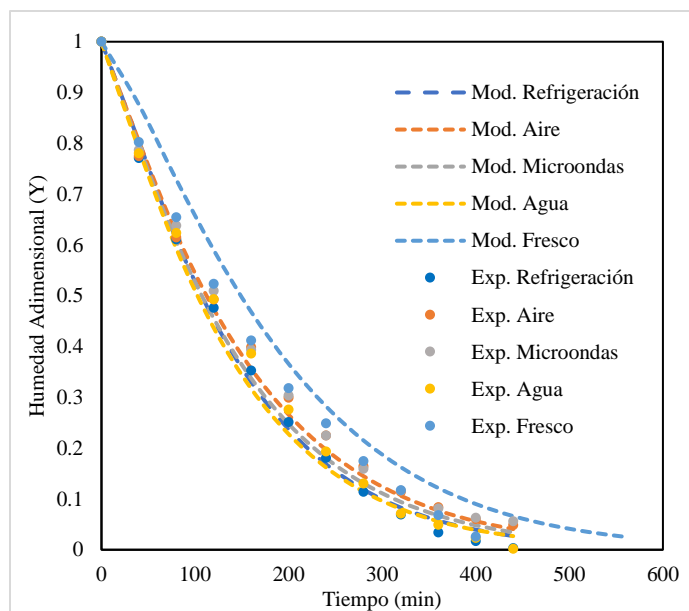


Fig. 3 Cinética de secado de arándano de los cinco métodos de descongelación; los puntos representan el promedio de los valores experimentales (Exp); las líneas punteadas representan el ajuste a la ecuación de Page (Mod).

A pesar de no apreciar una diferencia en las cinéticas de secado, las figuras 4 y 5 muestran diferencias significativas en los parámetros del modelo de Page. En sí, el método de descongelación afectó significativamente los valores de “k” y “n” ($p < 0.05$). Este modelo nos brinda dos parámetros que nos dan una idea indirecta de cambios estructurales en el producto: “k” está relacionada a la velocidad inicial del secado y “n” indica el tipo de transferencia de agua que ocurre en el producto. Con respecto a “k” se observa que el valor fue más alto cuando la muestra fue descongelada a temperatura ambiente (aire), esto demuestra que la velocidad fue más alta debido al posible daño que pudo haber ocasionado este método sobre la estructura del arándano. Los frutos sometidos a congelación y luego a descongelación, presentan cambios en su estructura modificando su aspecto (estructura) y valor nutricional [9]. Esto se da por la formación de cristales grandes de hielo en el

proceso de congelación los cuales dañan los tejidos. Tanto las frutas y verduras sufren pérdida de textura debido a que hay una perforación en la membrana plasmática cuando se forman cristales de hielo en la congelación [19]. Asimismo, se ha evidenciado en arándanos, donde los cristales de hielo formados durante la congelación ocasionaron modificaciones en la parte interna, como también en la textura [18]. En consecuencia, estos cambios en la textura producen una pérdida irreversible de la turgencia en frutas delicadas como el arándano [20].

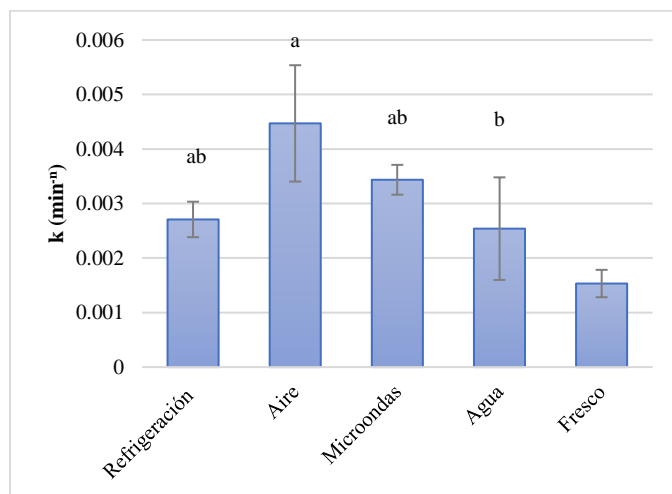


Fig. 4 Efecto de los métodos de descongelación en la velocidad de secado del arándano. Los valores de las barras representan el promedio del parámetro k del modelo de Page con sus respectivos desvíos que están representados por las barras verticales, las letras representan comparación por la prueba de Tukey y la horizontal el valor promedio del producto fresco.

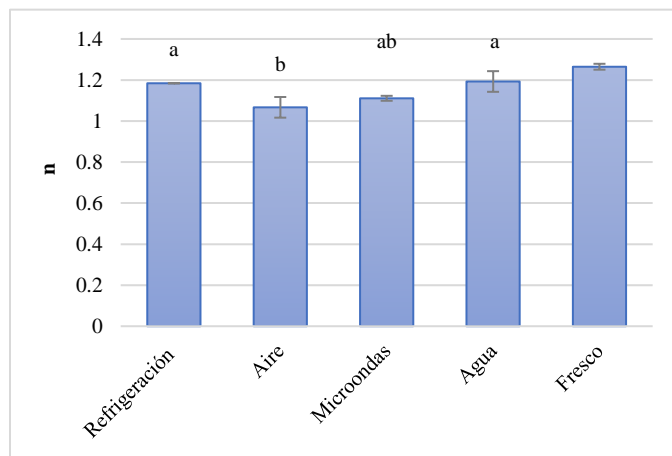


Fig. 5 Efecto de los métodos de descongelación en el secado del arándano. Los valores de las barras representan el promedio del parámetro n del modelo de Page con sus respectivos desvíos que están representados por las barras verticales, la letra las letras representan comparación por el test de Tukey y la horizontal el valor promedio del producto fresco.

En la figura 4 se muestran los valores de “n”. Este parámetro indica el tipo de transferencia de agua que se da durante el secado el cual puede ser netamente difusivo ($n=1$), superdifusivo ($n>1$) o subdifusivo ($n<1$). La figura 4 muestra

que el método de descongelación afecta significativamente el valor de “n”. Todos los métodos de descongelado causaron una disminución del valor de “n” lo cual da indicios de haber cambios estructurales, siendo el de temperatura ambiente (aire) el más bajo. La disminución de “n” pudo haber sido causado por el aumento de grandes cavidades dentro de la estructura del fruto, lo cual causó que se llenen de líquido el cual, por su mayor volumen, es difícil de transferir al exterior del fruto durante el secado. Este mismo fenómeno ha sido descrito en deshidratación de piña [17].

C. Determinación del daño por descongelamiento a través de conductimetría

En la figura 6, se puede observar el porcentaje de daño que hubo, el cual fue significativamente ($p < 0.05$) diferente para los cuatro métodos de descongelación. Se observa que sufrió más daño el tratamiento a temperatura ambiente (aire), esto se debió al posible daño severo en su estructura. Al haber daño en los tejidos y las células del fruto, estas pierden fluidos los cuales, al ser disueltos en el agua exterior, aumenta su conductividad eléctrica. En el caso del método de descongelación por refrigeración, se aprecia que fue el método el cual sufrió un menor daño, como también el método realizado por microondas y agua.

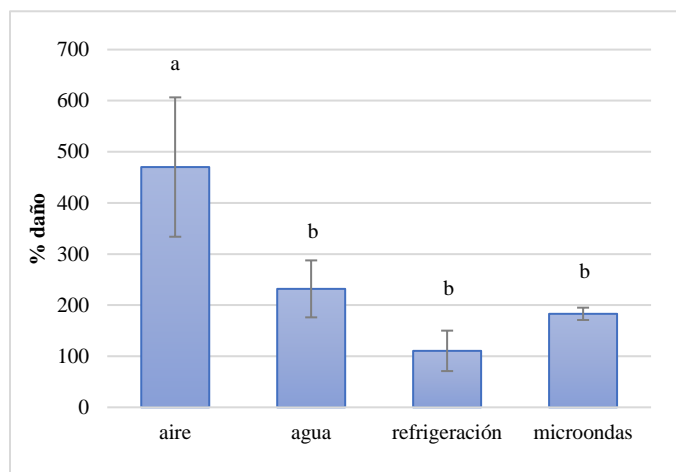


Fig. 6 Efecto del método de descongelación en el porcentaje de daño de arándanos. Los valores de las barras representan los promedios del % de daño de los métodos empleados en descongelación con sus respectivos desvíos que están representados por las barras verticales, la letra las letras representan comparación por la prueba de Tukey y la horizontal el valor promedio del producto fresco.

Tanto en el secado como en la conductimetría se aprecia que hubo relación del daño estructural con respecto a los parámetros de secado y de conductividad eléctrica. Ambos demuestran que el tratamiento que sufrió mayor daño fue el método de descongelación a temperatura ambiente (aire). Así también nos muestra que el método que sufrió menos daño al descongelarse es la refrigeración.

IV. CONCLUSIÓN

En este trabajo se determinó el efecto de cuatro métodos de descongelado en el daño por frío de arándano. Se concluyó que el método por descongelación a temperatura ambiente (aire), fue el que ocasionó mayor daño con respecto a la estructura del producto. Sin embargo, la descongelación en refrigeración es el método en el cual el arándano sufrió un menor daño. Asimismo, se determinaron los tiempos de descongelación que tuvo cada método, resaltando como una descongelación rápida el método por microondas con un tiempo de 30 segundos, y una descongelación más lenta, el método por refrigeración con un tiempo de 150 minutos. Estos resultados pueden servir a nivel industrial y doméstico para evitar alteraciones en la calidad y textura del arándano, por lo cual se recomienda descongelar por el método de refrigeración.

REFERENCES

- [1] MINAGRI. (2019). *MINAGRI: Exportaciones de arándanos llegaron a los US \$ 589 millones el año pasado.*
- [2] M. Valero. (2016, 07/03). *Perú es uno de los principales Países exportadores de arándanos en Sudamérica.* Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-es-uno-los-principales-paises-exportadores-arandanos-sudamerica-607435.aspx>
- [3] B. Defilippi, P. Robledo, and C. Becerra, "Manejo de cosecha y poscosecha en arándano," *Undurraga, P. & Vargas, S. Manual de Arándano. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Instituto de Investigaciones Agropecuarias-INIA, Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile*, 2013.
- [4] S. Badui Dergal and H. R. T. Cejudo Gómez, *Química de los alimentos: Pearson educación*, 2006.
- [5] A. Delgado and A. C. Rubiolo, "Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 38, pp. 135-142, 2005.
- [6] M. Zhang, Z.-H. Duan, J.-F. Zhang, and J. Peng, "Effects of freezing conditions on quality of areca fruits," *Journal of food engineering*, vol. 61, pp. 393-397, 2004.
- [7] G. P. Barrios Quiroz and M. Echenique Montes, "Estudios preliminares para la implementación de métodos de almacenamiento y de conservación de alimentos en buques de altamar," *Universidad de Cartagena*, 2011.
- [8] P. Talens, I. Escriche, N. Martínez-Navarrete, and A. Chiralt, "Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit," *Food Research International*, vol. 36, pp. 635-642, 2003.
- [9] A. J. Rosenthal, *Textura de los alimentos: medida y percepción*, 2001.
- [10] L. Ojeda, M. Claramonte, J. Rey, C. Trestini, M. Useche, N. Zambrano, *et al.*, "Efecto de los procesos de congelación y descongelación sobre los almidones en un alimento a base de maíz," *Revista chilena de nutrición*, vol. 45, pp. 310-315, 2018.
- [11] V. O. Salvadori, "Transferencia de calor durante la congelación, el almacenamiento y la descongelación de alimentos," 1994.
- [12] W. Kmiecik, G. Jaworska, and A. Budnik, "Effect of various thawing techniques on the quality of small fruit frozen products," *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, vol. 46, pp. 135-143, 1995.
- [13] L. Silva, K. Ramirez, F. Gavidia, and A. C. Miano, "Freeze-thawing damage evaluation of vegetables with two cutting orientations," *Journal of Food Process Engineering*, vol. n/a, p. e13845, 2021.
- [14] J. A. Salazar Leyva, "Efecto de los métodos de congelación y descongelación sobre las proteínas miofibrilares y estructura del músculo del cazón (*Mustelus lunulatus*)," *Universidad de Sonora*, 2003.
- [15] A. D. Giraldo-Zuniga, A. Arévalo-Pinedo, A. F. Silva, P. F. Silva, J. C. Valdes-Serra, and M. C. d. M. Pavlak, "Datos experimentales de la cinética

- del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas," *Food Science and Technology*, vol. 30, pp. 179-182, 2010.
- [16] P. L. De Los Santos, D. Chávez Novoa, A. Vega Anticona, G. Linares, J. Sánchez-González, A. C. Miano, *et al.*, "Cut orientation and drying temperature effect on drying and rehydration kinetics of yacon (*Smallanthus sonchifolius*)," in *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, Virtual, 2021, pp. 1-6.
- [17] G. R. Carvalho, A. P. Massarioli, I. D. Alvim, and P. E. D. Augusto, "Iron-Fortified Pineapple Chips Produced Using Microencapsulation, Ethanol, Ultrasound and Convective Drying," *Food Engineering Reviews*, pp. 1-14, 2020.
- [18] M. Zielinska, P. Sadowski, and W. Błaszczyk, "Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.)," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 62, pp. 555-563, 2015.
- [19] P. K. Jha, E. Xanthakis, S. Chevallier, V. Jury, and A. Le-Bail, "Assessment of freeze damage in fruits and vegetables," *Food Research International*, vol. 121, pp. 479-496, 2019.
- [20] X. Cao, F. Zhang, D. Zhao, D. Zhu, and J. Li, "Effects of freezing conditions on quality changes in blueberries," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 98, pp. 4673-4679, 2018.