



El impacto del proceso de congelación en la composición química y la calidad de la coliflor (*brassica oleracea var. Botrytis*)

García Ovando Jared Yair;¹ Vázquez Celestino Dalia;² Gerardo Vázquez Moreno;³ Vázquez Barrios Ma. Estela.¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro; yairgovando@gmail.com ma.estela.vazquez@uaq.mx

²Universidad Politécnica de Guanajuato; dvazquez@upgto.edu.mx

³Tecno Food Querétaro; vzqz.gerardo@gmail.com

Cite este artículo así:

APA: García-Ovando, J. Vázquez-Celestino, D. Vázquez-Moreno, G. Vázquez-Barrios, M. (2024). El impacto del proceso de congelación en la composición química y la calidad de la coliflor (*brassica oleracea var. Botrytis*) *Quimiofilia*, 3, (1) 25-28.

ACS: García-Ovando, J; Vázquez-Celestino, D; Vázquez-Moreno, G; Vázquez-Barrios, M. *Quimiofilia*, 2024, 3, 25-28.

DOI: <https://doi.org/10.56604/qfla2024312528>

Recibido: enero 16, 2024

Aceptado: febrero 19, 2024

Publicado: julio 8, 2024

www.quimiofilia.com ISSN: 2683-2364 Registro IMPI: 2052060
QUIMIOFILIA Reserva de derechos al uso exclusivo 2022: 04-2019-062013201300-203.

Resumen

La coliflor es una crucífera con un alto contenido nutricional, destaca la presencia de compuestos azufrados conocidos como glucosinolatos; la coliflor tiene corta vida postcosecha por lo que la principal forma de comercialización es mediante la congelación; sin embargo, durante este proceso ocurre un problema de calidad denominado de forma coloquial como pata verde, caracterizado por el desarrollo de tonalidades verdes en el tallo de la coliflor, si bien el defecto no está puntualmente regulado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) si representa pérdidas económicas para las congeladoras comerciales.

Palabras Clave: Enverdecimiento; Glucosinolatos; Congelación; Crucíferas.

La coliflor posee beneficios y propiedades importantes para la salud gracias a su composición nutricional, destaca la presencia de fenoles, minerales, vitaminas, fibra y glucosinolatos; así como su elevado contenido de agua y bajo contenido de carbohidratos.¹

El brócoli y la coliflor son las especies del género Brassica que más se comercializan tanto frescas como congeladas, Guanajuato, Puebla e Hidalgo representan los estados más importantes en cuanto a la producción de esta crucífera, exportando el 25.6% de la participación mundial, lo cual conforma el 80% del total de las hortalizas congeladas y exportadas; Estados Unidos encabezó el principal destino de exportación, seguido de Canadá y Japón.^{2,3}

La coliflor fresca presenta una corta vida postcosecha de 7 a 10 días a temperatura ambiente y aunque las condiciones de refrigeración alargan su vida a 15 días, la pella adquiere una tonalidad amarilla o marrón demeritando su calidad, además bajo temperaturas óptimas de almacenamiento

(0°C con 95-98% de humedad relativa) puede presentar pérdida de firmeza; por esta razón, el principal método de conservación para su comercialización es la congelación, la cual requiere de un pretratamiento de escaldado para evitar cambios indeseables en el producto durante su almacenamiento debido principalmente a la actividad de las enzimas.^{4,5} Sin embargo, las congeladoras comerciales reportan un problema de calidad en el producto congelado conocido como “pata verde”, caracterizado por el desarrollo de una coloración verde en el tallo de los floretes (Figura 1) y que representa pérdidas del 30-40% en el producto terminado. Se ha reportado el desarrollo de color verde durante el almacenamiento en otros productos hortícolas como el ajo, principalmente por la participación de compuestos azufrados como la allina,^{6,7} de manera comparativa; la degradación de los glucosinolatos en la coliflor podría estar asociado al desarrollo del enverdecimiento.

1. Coliflor Brassica oleracea var. botrytis. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/coliflor_tcm30-102697.pdf (Acceso: 13/02/2024).

2. Panorama Agroalimentario. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020 (Acceso: 13/02/2024).

3. FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity_exports (Acceso: 13/02/2024).

4. Ahmed, F.; Ali, R. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh and processed white cauliflower. *BioMed. Res. Inter.* 2013, 2013, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2013/367819>

5. Cauliflower: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. <https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/cauliflower> (Acceso: 13/02/2024).

6. De Iseppi, A.; Curioni, A. Garlic greening: Pigments' biosynthesis and control strategies. *Ital. J. Food Sci.* 2021, 33(1), 73-83. <https://doi.org/10.15586/IJFS.V33I1.1939>

7. Wu, J.; Niu, Z. Transcriptome in Combination Proteome Unveils the Phenylpropane Pathway Involved in Garlic (*Allium sativum*) Greening. *Front.nutr.* 2021, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.764133>

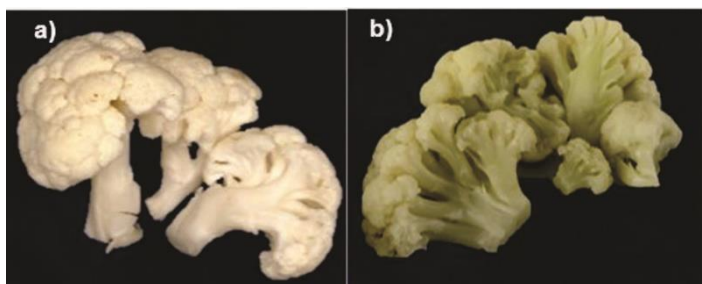


Figura 1. Coliflor *Brassica oleracea* var. *botrytis*. a) Fresca blanca. b) Congelada y enverdecida.

El escaldado es un tratamiento térmico empleado que utiliza agua en un gradiente de temperaturas que va de 70-100 °C, suele emplearse antes del secado, congelado, freído o enlatado de productos frescos, consiste en el calentamiento del producto fresco, entero o troceado, hasta una temperatura específica por un periodo de tiempo determinado, seguido de un enfriamiento rápido para ser rápidamente congelado o sometido a un siguiente procesamiento.^{8,9} El escaldado mantiene la calidad del producto procesado durante almacenamientos prolongados debido a que elimina microorganismos e inactiva enzimas mediante la ralentización de su actividad o por completa inhibición, que podrían causar el deterioro del alimento durante toda la cadena de producción y transporte, por lo tanto, un escaldado incorrecto permitirá que las enzimas continúen activas durante el almacenamiento en congelación provocando el desarrollo de tonalidades y sabores indeseables, así como pérdida de sabor, color, vitaminas y minerales.⁸

A pesar de las ventajas del escaldado, este proceso presenta limitaciones, las altas temperaturas del escaldado impactan en el contenido de proteínas mediante su desnaturalización y lixiviación en el agua de procesamiento, ocasionan la reducción en el contenido de minerales, aunque este hecho no se asocia a la destrucción de minerales, sino más bien a su difusión en el agua de procesamiento; otros compuestos que se ven disminuidos son las vitaminas, carbohidratos, azúcares y polifenoles.^{4,8,10}

La congelación representa el proceso de conservación más común de productos hortícolas, reduce la tasa de deterioro del producto al disminuir las reacciones de deterioro ocasionadas por microorganismos, alargando así su vida de anaquel, es comúnmente aplicada a productos que serán consumidos a largo plazo, sin embargo, si no se aplicó un buen escaldado es posible que las muestras congeladas durante su almacenamiento y en la

descongelación, presenten actividad residual de enzimas.^{11,12} Una congelación correcta involucra 3 fases: 1) Fase de preenfriamiento: consiste en disminuir la temperatura del producto a un valor preestablecido, 2) Fase de nucleación: cuando se realiza el cambio de temperatura del producto hacia una temperatura menor sin llegar a la congelación, 3) Fase de super enfriamiento: cuando la temperatura del producto ha descendido por debajo del punto de congelación (-5 °C).¹³ En el caso particular de la coliflor blanca, la transición adecuada entre las 3 fases se logra con la selección de un producto que cumpla con los criterios de calidad (cabeza blanca y compacta, sin hojas de follaje) así como el corte de la cabeza en racimos con un ancho de 6 a 20 mm.

De acuerdo con las normas establecidas en el Codex Alimentarius¹⁴ y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)¹⁵ en su documento Estándares de Estados Unidos para coliflor congelada, las coliflores que se destinen a una congelación rápida deben tener pellas frescas, limpias y sanas, las cuales, a su vez pueden haber sido recortadas y divididas en partes, además de haber tenido un proceso previo de lavado y escaldado. Una vez congelada la coliflor, esta puede ser clasificada en grado A o grado B. La coliflor congelada será grado A cuando el lote de producto presente uniformidad en los aspectos de olor, sabor y apariencia (textura y color), así como de factores de calidad que aseguren la ausencia de manchas u hojas dañadas, en caso de no cumplir con uno de estos requisitos la coliflor será clasificada como grado B.¹⁵ A pesar de que el enverdecimiento no es reconocido como un defecto que el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) penalice, si es un factor que repercute en la comercialización del producto final debido a que el límite aceptable de “pata verde” para exportación comercial se encuentra entre el 10 y 20%.

La composición nutricional de la coliflor se muestra en la Tabla 1, destaca su contenido de vitaminas (Vitamina C) y minerales (potasio), además contiene fitoquímicos como compuestos fenólicos, carotenoides, glucosinolatos, flavonoides, que tienen efectos antioxidantes.

8. Xiao, H.W.; Pan, Z. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. *Inf. Process. Agric.* 2017, 4(2), 101–127. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2017.02.001>

9. How to freeze vegetables. <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/handle/10355/85119> (Acceso: 13/02/2024).

10. Ali, A. Effect of food processing methods on the bioactive compound of cauliflower. *Egypt. J. Agric. Res.* 2015, 93(1), 117–131. <https://doi.org/10.21608/ejar.2015.152818>

11. Sharma, S.; Katoch, V. Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. *J. Nutr. Biochem.* 2021, 92. <https://doi.org/10.1016/J.JNUTBJO.2021.108615>

12. Kapusta-Duch, J.; Kusznierecz, B. Effect of cooking on the contents of glucosinolates and their degradation products in selected Brassica vegetables. *J. Func. Foods*, 2016, 23, 412–422. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.006>

13. Alvarez, T. Efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales: Una revisión bibliográfica de datos publicados. Lic. en Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ambato Ecuador, (2021). <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33606>

14. Norma para las coliflores congeladas rápidamente: CXS 111-1981. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B111-1981%252FCXS_111s.pdf (Acceso: 13/02/2024).

15. United States Standards for Grades of Frozen Cauliflower. https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Frozen_Cauliflower_Standard%5B1%5D.pdf (Acceso: 13/02/2024).



Tabla 1. Composición nutricional de la coliflor por cada 100 g de parte comestible.¹⁶

Compuesto	cantidad
Calorías (kcal)	25
Proteínas (g)	1.92
Lípidos (g)	0.28
Carbohidratos (g)	4.97
Azúcares (g)	1.91
Fibra (g)	2.0
Calcio (mg)	22
Hierro (mg)	0.42
Potasio (mg)	299
Sodio (mg)	30
Zinc (mg)	0.27
Vitamina C (mg)	48.2
Vitamina A (equivalentes de retinol)	0
Vitamina E (mg)	0.08
Vitamina K (mg)	0.27
Folatos (mg)	57

A pesar de su contenido nutricional, la principal característica que distingue a las crucíferas de los demás vegetales es la presencia de glucosinolatos. Los glucosinolatos son los compuestos responsables del sabor y olor característico de la coliflor, se almacenan en la vacuola de la célula de las plantas y desarrollan funciones de defensa contra organismos o bien de síntesis de compuestos de defensa de la planta, su estructura química (Figura 2) está dada por aniones conformados por fracciones de glucósido (grupo β -D-tioglucosa), un grupo sulfato (oxima sulfonada) y una cadena lateral, la cual otorga la clasificación de glucosinolatos de acuerdo con el conjunto de aminoácidos presentes en el grupo R.^{12,17}

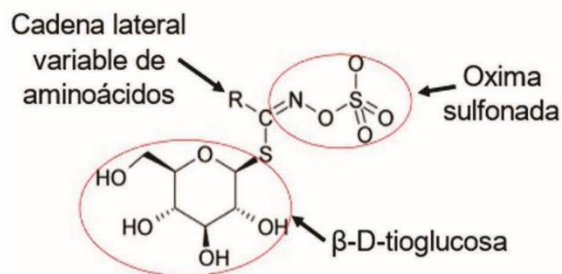


Figura 2. Estructura química de los Glucosinolatos.^{17,18}

La enzima responsable de hidrolizar a los glucosinolatos es la mirosinasa o β -tioglucosidasa (EC 3.2.1.147), se encuentra en células de mirosina, mayormente identificadas en la superficie externa de la pared celular de las Brassicaceas.¹⁸ Esta enzima pertenece a la familia de las glucósido hidrolasas y es la única especie capaz de hidrolizar los grupos Sulfato, su estructura proteica (Figura 3) es dada por dos moléculas estabilizadas por un ion central de Zn^{+2} y cuatro residuos de aminoácidos Histidina ubicada en la posición 56 y Ácido aspártico ubicada en la posición 70.¹⁹

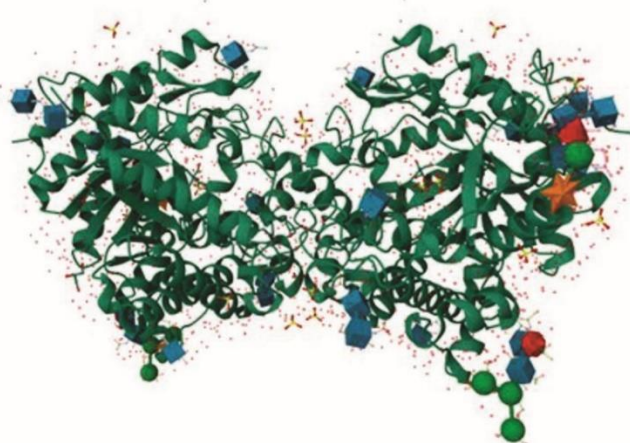


Figura 3. Estructura proteica tridimensional de la Mirosinasa.²⁰

El sistema glucosinato-mirosinasa no existe inicialmente en la coliflor debido a que ambos compuestos se encuentran compartimentalizados, de manera que se forma después de la ruptura celular como resultado del daño por corte, prensado y cocci3n de la coliflor, así como procesos que utilicen altas temperaturas o

16. Hernández, N. Beneficios de las verduras crucíferas para la salud humana. ResearchGate 2016. https://www.researchgate.net/profile/Nicolas-Pedrer0s/publication/316273005_Beneficios_del_consumo_de_cruciferas_en_la_salud_humana_-_Benefits_of_Cruciferous_vegetables_consumption_on_human_health/links/58f847730f7e9bfc93c10bf/Beneficios-del-consumo-de-cruciferas-en-la-salud-humana-Benefits-of-Cruciferous-vegetables-consumption-on-human-health.pdf

17. Pérez, A. Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. Alimentos Hoy 2014, 22(31), 64-80. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/256>

18. Prieto, M.; Jiménez-López, C.; Simal-Gandara, J. Glucosinolates: Molecular structure, breakdown, genetic, bioavailability, properties and healthy and adverse effects. *Adv. Food Nutr. Res.* **2019**, *90*, 305-350. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2019.02.008>

19. Bhat, R.; Vyas, D. Myrosinase: insights on structural, catalytic, regulatory, and environmental interactions. *Crit. Rev. Biotechnol.* **2019**, *39*, 508-523. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1576024>

20. RCSB Protein Data Bank: Myrosinase from Sinapis Alba. <https://www.rcsb.org/3d-view/1MYR/1> (Acceso 13/02/2024).



involucran la descongelación de la hortaliza.^{12,17} La hidrólisis enzimática de los glucosinolatos (Figura 4) provoca la liberación de la molécula de glucosa y la formación de la aglucona o intermediario inestable conocido como grupo tihidroxio-O-sulfato, el cual reorganiza su estructura de acuerdo con las condiciones de pH del medio, la concentración de iones ferrosos y la presencia de proteínas epítio específicas (ESP) para formar uno de los 5 productos de degradación de los glucosinolatos (Figura 5): isotiocianatos, tiocianatos, nitrilos, epitionitrilos y oxazilidinas.^{12,17,18}

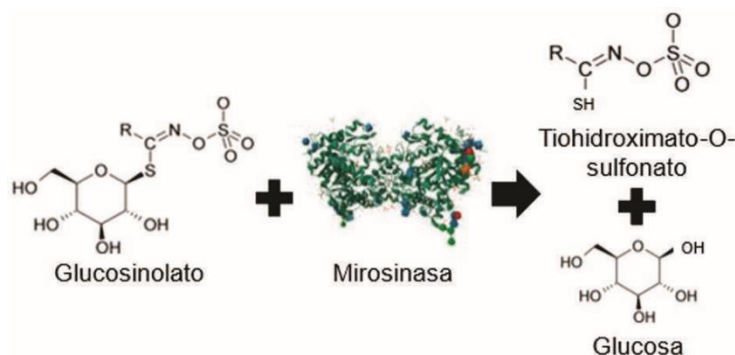


Figura 4. Hidrólisis enzimática de los Glucosinolatos.^{17,18,20}

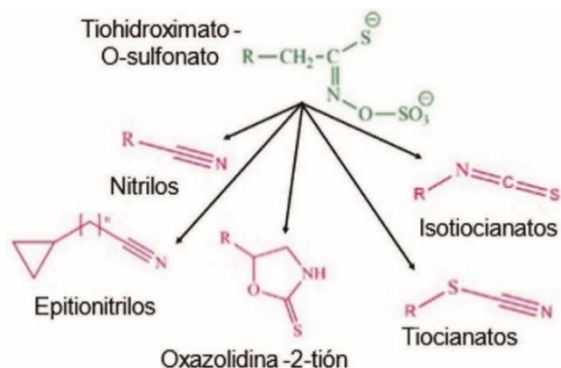


Figura 5. Formación de los productos de degradación de los glucosinolatos a partir del intermediario Tihidroximato-O-sulfonato.

El mecanismo de enverdecimiento de la coliflor podría ser resultado de los productos de degradación de los glucosinolatos por la formación de compuestos azufrados con propiedades cromóforas, además, la presencia misma de los glucosinolatos también podría estar asociada al desarrollo del defecto al incrementarse como respuesta a las condiciones de estrés que sufre el tejido de la coliflor durante el corte, escaldado y la congelación, sin embargo; es necesario continuar con la línea de investigación para obtener una resolución definitiva.

Conclusión

La coliflor representa un papel importante en la exportación de hortalizas congeladas en México, si bien su exportación en fresco es complicado debido a su corta vida postcosecha, la congelación

de este tipo de productos permite ampliar el tiempo en el que conserva sus condiciones óptimas para la exportación; la correcta congelación de la coliflor es regulada por la USDA, tomando en cuenta factores como la firmeza, textura, compacidad, tamaño y color de la pella o florete; sin embargo, no se ha establecido un apartado específico para el enverdecimiento de la coliflor, este problema no es clasificado como un defecto que ocasione daños a la salud del consumidor sin embargo ocasiona pérdidas económicas importantes para las congeladoras comerciales. Se sugiere continuar con la línea de investigación para resolver el papel que juegan los compuestos azufrados en el desarrollo de pata verde, ya que podría verse impulsado por la presencia de los glucosinolatos o incluso por la formación de sus productos de degradación como consecuencia de la hidrólisis ocasionada por la enzima mirosinasa.



Consultoría analítica, regulatoria
e industrial

<https://grupoidaii.com>



Dra. Berenice Rivera Ramirez
cardiólogo pediatra Ecocardiografista
draberenicerivera.com



EQUIPOS DE LABORATORIO

División Latinoamérica
www.buchi.com