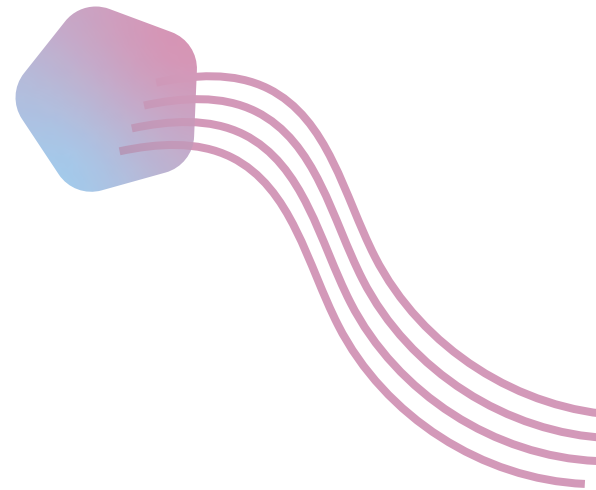


01

EFFECTO DE TRATAMIENTOS PRECOSECHA EN LA REVERSIÓN Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS DEL FRUTO DE ZARZAMORA (*Rubus sp.*)

EFFECTS OF PREHARVEST TREATMENTS IN ANTHOCYANIN CONTENT
AND RED DRUPELET REVERSION OF BLACKBERRIES (*Rubus sp.*)



Joel E. Martínez Camacho¹
Diana V. Melo Sabogal¹
Ileri A. Carbajal Valenzuela¹
Irineo Torres Pacheco^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Querétaro

*Correo: torresirineo@gmail.com



RESUMEN

La zarzamora (*Rubus sp.*) es uno de los productos con mayor crecimiento en el sector agrícola mexicano. Su popularidad se debe en parte a su alto contenido de compuestos antioxidantes y bioactivos. Entre ellos se encuentran las antocianinas, que otorgan la coloración morada intensa característica de la zarzamora. Este fruto es altamente susceptible de un desorden fisiológico conocido como reversión, el cual se relaciona con la degradación de antocianinas y se manifiesta como un cambio de color y la aparición de manchas. La condición perjudica la percepción del consumidor acerca de la calidad de la fruta y es una de las principales razones de rechazo durante la comercialización de la zarzamora en fresco.

La síntesis y degradación de antocianinas están reguladas por estímulos externos e internos que incluyen el efecto de sustancias reguladoras del crecimiento. En este sentido, el uso de quitosano y el ácido salicílico, dos sustancias ampliamente reportadas como modificadores del metabolismo vegetal, ofrece una opción para

incrementar la concentración o mantener la integridad de las antocianinas presentes en los frutos de zarzamora. El objetivo de este trabajo fue describir qué efecto tiene la aplicación foliar de ácido salicílico 3 mM y quitosano 0.25 % en periodos pre cosecha sobre el contenido de antocianinas

totales y la ocurrencia del fenómeno de reversión en frutos de zarzamora. Los resultados mostraron un aumento en el contenido de antocianinas en zarzamoras tratadas con quitosano

y una disminución de la ocurrencia del fenómeno de reversión en zarzamoras tratadas con quitosano y ácido salicílico después de 144 horas de almacenamiento.

Palabras clave: Ácido salicílico, antocianinas, quitosano, zarzamora.

ABSTRACT

Blackberries (*Rubus sp.*) are one of the fastest growing products in the Mexican agricultural sector, its popularity is due in part to. It's high content of antioxidant and bioactive compounds. Among them are anthocyanins, which give the intense purple coloration characteristic of blackberries. This fruit is highly susceptible to a physiological disorder known as reversion, which is linked to anthocyanin degradation and is manifested as a color change and the formation of spots. The condition damages consumer perception of fruit quality and is one of the main reasons for rejection during fresh blackberry marketing.

Anthocyanin synthesis and degradation are regulated by external and internal stimuli including the effect of growth regulating substances. In this sense, the use of chitosan and salicylic acid, two substances widely reported as plant metabolism modifiers, offers an option to increase the concentration or maintain the integrity of anthocyanins present in blackberry fruits. The objective of this work was to describe the effect of foliar application of 3 mM salicylic acid and 0.25 % chitosan in pre-harvest periods on total anthocyanin content and the occurrence of the reversion phenomenon in blackberry fruits. The results showed an increase in anthocyanin content in blackberries treated

Gran cantidad de zarzamoras perfectamente nutritivas se desperdician sólo porque no lucen un color brillante. Los tratamientos con ácido salicílico y quitosano tienen el objetivo de conservar la apariencia de los frutos durante más tiempo para atraer la atención de los consumidores.

with chitosan and a decrease in the occurrence of the reversion phenomenon in blackberries treated with chitosan and salicylic acid after 144 hours of storage.

Keywords: salicylic acid, anthocyanins, chitosan, blackberry.

INTRODUCCIÓN

La zarzamora (*Rubus* sp.) se ha ubicado durante la última década como uno de los productos con mayor potencial en el sector agrícola mexicano. Su consumo se relaciona con efectos positivos para la salud humana debido a su alto contenido de compuestos bioactivos capaces de modular procesos metabólicos, además de sus propiedades antioxidantes [1], [9]. Dichas sustancias han mostrado efectos antivirales, antiinflamatorios, cardioprotectores y antidiabéticos [2], [3].

Las antocianinas son los pigmentos que le otorgan a la zarzamora su coloración característica y se localizan principalmente en la piel del fruto [4]. Presentan en su mayoría una base de cianidina e inhiben la proliferación de células de carcinoma en pulmones y la migración de células cancerígenas; además, tienen efectos neuroprotectores en células extracraneales [5], [6]. Sus beneficios a la salud se atribuyen principalmente a su capacidad antioxidante. Existe un gran interés por aumentar su contenido en los alimentos y promover su consumo [4], [7], [8].

La maduración de la zarzamora va acompañada de un cambio cromático, del verde al rojo y finalmente al morado intenso, resultado de la acumulación de antocianinas [10]. No obstante, el fruto es altamente susceptible de un desorden

fisiológico conocido como reversión, el cual se manifiesta como una alteración de color de morado a rojo o la aparición de manchas rojas en la fruta madura tras la cosecha. Este trastorno es una de las principales razones de rechazo durante la comercialización de la zarzamora en fresco; adicionalmente, se ha reportado que factores como la vibración durante el transporte o almacenamiento, la exposición a condiciones de iluminación intensa, cambios de temperatura y operaciones adicionales de manejo posterior a la cosecha podrían deteriorar el fruto y favorecer el fenómeno de reversión junto con la degradación de antocianinas [11], [12], [13].

Hay diversos estímulos que regulan la síntesis de antocianinas, entre ellos se incluyen la temperatura, iluminación, estatus nutricional y disponibilidad de agua, así como el efecto de reguladores del crecimiento vegetal [14], [15]. En este sentido, el uso de modificadores del metabolismo vegetal como el quitosano (CHS) y el ácido salicílico (SA) puede ser una opción para incrementar la concentración de compuestos bioactivos en la zarzamora o mantener las características de las antocianinas en el fruto por tiempos más prolongados [16], [17], [18].

El ácido salicílico es una molécula de origen fenólico cuya aplicación exógena en plantas ha mostrado la activación de las resistencias local y sistémica adquirida [19], [20], al igual que la disminución del deterioro y ablandamiento en diversos frutos, además de la mejora de propiedades como la firmeza y la protección contra reacciones oxidativas [21], [22], [23], [24], [25]. Por otra parte, el quitosano es un polisacárido lineal derivado de la quitina con una amplia variedad

de beneficios en plantas, incluyendo la activación de mecanismos de resistencia, rutas metabólicas de producción de compuestos bioactivos, y la prevención del deterioro de frutos [26], [27]. El objetivo de este trabajo fue describir el efecto de la aplicación precosecha de ácido salicílico y quitosano sobre el contenido de antocianinas totales y la ocurrencia del fenómeno de reversión durante el almacenamiento de la zarzamora.

MATERIALES Y MÉTODOS

LUGAR DE DESARROLLO EXPERIMENTAL

El lote experimental de plantas se ubicó en la comunidad de Senegal de las Palomas, municipio de San Juan del Río, Querétaro (20.436092 N, 10.85137 O). Las zarzamoras de la variedad comercial Tupi de 5 años de edad bajo sistema de riego por goteo se dispusieron en hileras de separadas 2.4 m, con una distancia entre plantas de 0.80 m. Se realizaron las labores culturales esenciales de poda de activación, nutrición foliar, despunte, riego, poda de rebrote y desyerbe para el mantenimiento y manejo de cultivo durante el ciclo 2020, según los lineamientos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para la producción agrícola orgánica y del Programa Orgánico Nacional (National Organic Program, NOP) del departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

METODOLOGÍA

TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron de SA (grado reactivo, J.T. Baker, USA.) y CHS (grado técnico, bajo peso molecular, 50 000-190 000 Da. Alzor® Biotechnologies, México)



a concentraciones 3 mM y 0.25 %, respectivamente. Se aplicaron vía foliar entre las 7:00 y 8:00 h, utilizando un aspersor de mano con un volumen de 1 l para rociar cada 80 plantas y frutos hasta dejar las hojas a punto de goteo. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos tratamientos y un control de agua destilada, cada uno con 3 repeticiones de 28 plantas.

DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES Y PORCENTAJE DE REVERSIÓN

Se recolectaron muestras tras 24 horas de la aplicación de los tratamientos. Las zarzamoras se seleccionaron en su punto comercial de maduración, sin evidencia de daño mecánico ni enfermedad, con color negro brillante, drupas completas, firmes, de fácil desprendimiento y ubicación similar en la planta.

Porcentaje de reversión: Las muestras se colocaron en clamshells comerciales de PET de 6 oz entre 0 y 1 °C durante 12 horas. Posteriormente se mantuvieron a una temperatura promedio de 22 a 23 °C durante 13 horas. Cada unidad experimental fue de 12 a 16 zarzamoras con 4 repeticiones por tratamiento. El registro de incidencia de reversión se realizó de manera similar a [28] con ligeras modificaciones: se consideró que una zarzamora presentaba reversión si dos o más de sus drupas cambiaron su coloración de morado intenso a rojizo durante el almacenamiento (Figura 1).

Determinación de antocianinas totales: Se tomaron muestras de las zarzamoras en almacenamiento a las 144 horas para la cuantificación de antocianinas totales. La determinación se realizó de manera similar a [29] y [30] por el método de pH diferencial, con ligeras modificaciones. Se molieron y homogenei-

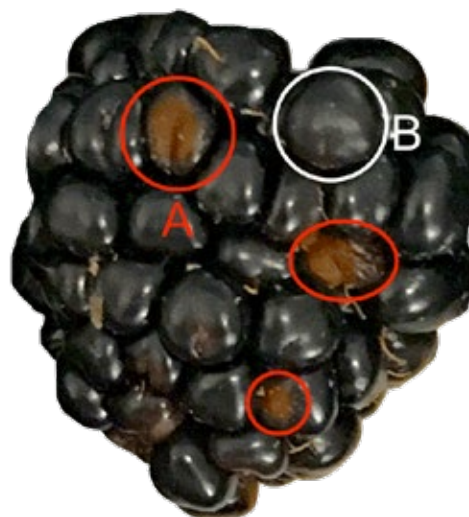


Figura 1. Reversión en drupas de zarzamora. A) Drupa afectada por reversión, B) Drupa sana. Se consideró presente la reversión en una zarzamora si dos o más de sus drupas manifestaban afectación.

zaron 5 zarzamoras al azar de cada tratamiento; se pesó una muestra de 0.5 g previamente molida en frío, a la cual se le añadieron 5 ml de HCl/MetOH 1 % v/v. Se introdujo en un agitador de vórtice por 30 segundos; posteriormente se colocó la mezcla en un sonicador a 45 Hz por 10 min a temperatura ambiente. Las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm y 20 °C por 5 min; el sobrenadante se extrajo para las determinaciones.

Se prepararon dos diluciones del extracto; A 0.05 ml de extracto se le añadieron 1.90 ml de búfer de KCl 0.025 M, pH = 1. A otros 0.05 ml de extracto se le añadieron 1.90 ml de búfer de acetato de sodio 0.4 M, pH = 4.5. La absorbancia se midió a 515 y 700 nm para ambas diluciones. El contenido total de antocianinas se expresó como equivalente en mg de cianidina-3-glucósido (C3G) por 100 g de muestra.

ANÁLISIS DE DATOS

El programa JMP® (Versión 12.1.0) permitió llevar a cabo el análisis de

varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas y cotejar las medias de Tukey ($P = 0.05$) para el contenido de antocianinas. Las proporciones se compararon mediante la prueba exacta de Fisher para comprobar la presencia de reversión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las zarzamoras tratadas con CHS 0.25 % mostraron mayor contenido de antocianinas (146.37 mg por cada 100 g de peso fresco) en comparación con el control. El porcentaje de incidencia del fenómeno de reversión fue menor para las zarzamoras tratadas con CHS 0.25 % y SA 3 mM, ambas con 0 % al final del periodo de almacenamiento (Tabla 1 y Figura 2). Como referencia, el contenido de antocianinas reportado en la literatura para la zarzamora fresca se encuentra en el rango de 83 a 326 mg por cada 100 g de peso fresco, y el porcentaje de incidencia de reversión en condiciones de almacenamiento comerciales se encuentra desde el 13.2 hasta el 41 % [28], [31].

Tabla 1. Contenido de antocianinas y presencia de reversión en frutos de zarzamora después de 144 horas de almacenamiento.

TRATAMIENTO	ANTOCIANINAS TOTALES ¹	PORCENTAJE DE REVERSIÓN ²
CHS 0.25 %	146.37 ± 5.93 a	0%
SA 3 mM	135.96 ± 3.65 ab	0%
Control	133.17 ± 3.40 b	25%

¹Contenido de antocianinas equivalentes totales expresado como mg de C3G/100 g de peso fresco. Prueba HSD Tukey-Kramer, = 0.05. Medias ± SD.

²Porcentaje de frutos de zarzamora afectados por reversión después de 144 horas de almacenamiento. Prueba exacta de Fisher. *Diferencia respecto al control = 0.05.

Las condiciones de almacenamiento de temperatura, luz y vibración, así como hora de recolección influyen en la aparición de la reversión [11], [32]. Sin embargo, los tratamientos con ácido salicílico y quitosano mostraron una reducción en la ocurrencia del fenómeno en las zarzamoras al final del periodo de prueba bajo nuestros parámetros de almacenamiento. Por otra parte, existe evidencia de que el ácido salicílico desencadena en las plantas respuestas similares a las observadas durante el ataque de patógenos, por ejemplo, el reforzamiento de la pared celular a través de la producción de sustancias que protegen la integridad estructural de las células [33], [34]. Es decir, el ácido salicílico podría tener un efecto positivo en la conservación del fruto al prevenir la ruptura de las paredes celulares o vacuolas de las drupas que genera un cambio de coloración debido a la exposición de los pigmentos al medio ambiente [35]. A su vez, el uso de quitosano puede reducir el ablandamiento y la tasa de respiración [36], [37], [38], fenómenos que podrían estar relacionados con la conservación del color de las drupas de las zarzamoras observadas en nuestro ensayo.

El tratamiento CHS 0.25 % tuvo un efecto en el contenido de antocianinas parecido al repor-

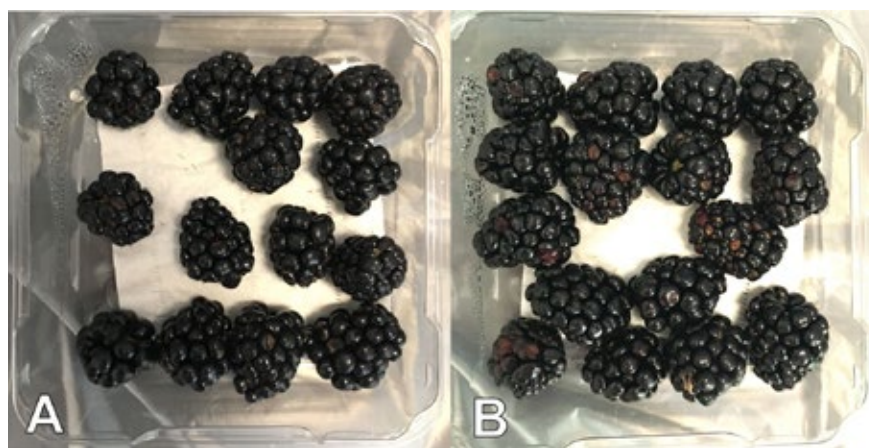


Figura 2. Comparación visual de tratamientos después de 144 horas de almacenamiento. Fotografías representativas: A) Quitosano 0.25 %, B) Control.

tado por [18], [36] y [39], en frutos similares. En adición a sus propiedades como activador de rutas metabólicas de síntesis de compuestos fenólicos, la molécula de quitosano ha reportado efectos antimicrobianos y de preservación de características de los frutos [40], [41]. En ese sentido, la producción de pigmentos de la zarzamora podría haber aumentado como efecto del tratamiento de quitosano respecto al control; sin embargo, fue estadísticamente igual al tratamiento de ácido salicílico. Dado que la determinación se realizó únicamente al final del periodo de almacenamiento, por el momento no existe información concluyente para precisar si el quitosano promovió una mayor síntesis de antocianinas o funcionó como conservador en el fruto.

Existen reportes de una reducción en el contenido de antocianinas, así como cambios estructurales y fisicoquímicos en drupas afectadas por reversión en contraste con drupas de zarzamora sin afectación [13], [42]. Esta información sugiere que las condiciones puntuales en zonas dañadas en la superficie de la zarzamora se relacionan con la degradación de ciertos compuestos de la pared celular, así como con el cambio de pH y la exposición de los pigmentos al medio ambiente [13], [35]. No existe a la fecha un consenso entre el contenido de antocianinas y su relación con la ocurrencia de la reversión en la zarzamora, ya que los reportes respecto al contenido de antocianinas en frutos de zarzamora afectados por reversión son contradictorios [11], [42], [43].



CONCLUSIONES

El uso de quitosano y ácido salicílico como tratamientos precosecha contribuye aparentemente a evitar el fenómeno de reversión y promover la conservación de antocianinas en la zarzamora; sin embargo, se requiere la determinación de variables adicionales que describan con mayor detalle el posible mecanismo de acción de estos modificadores del metabolismo vegetal, al igual que la relación del contenido y el tipo de antocianinas presentes en el fruto de zarzamora con la ocurrencia de la reversión. Hasta el momento, las causas exactas de esta afectación no se encuentran completamente descritas y la evidencia sugiere que se trata de un fenómeno multifactorial cuya prevención requiere un estudio más profundo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento al Sr. Resti y al Sr. Alejandro por su amable contribución con material vegetal y espacios para el desarrollo de este trabajo. Este trabajo fue financiado parcialmente gracias al apoyo del CONACYT (Ref:500818).

REFERENCIAS

- [1] U. Złotek, M. Świeca, and A. Jakubczyk, "Effect of abiotic elicitation on main health-promoting compounds, antioxidant activity and commercial quality of butter lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *Food chemistry*, vol. 148, pp. 253-260, 2014.
- [2] P. Padmanabhan, J. Coreea-Bentanzio, and G. Paliyath, "Berries and related fruits," *Encyclopedia of Food and Health, Reference Module in Food Science*, pp. 364-371, 2016.
- [3] T. Y. Wang, Q. Li, and K. S. Bi, "Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate," *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 12-23, 2018..
- [4] O. Paredes-López, M. L. Cervantes-Ceja, M. Vigna-Pérez, and T. Hernández-Pérez, "Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality life —a review," *Plant foods for human nutrition*, vol. 65, no. 3, pp. 299-308, 2010.
- [5] M. Ding, R. Feng, S. Y. Wang, L. Bowman, Y. Lu, Y. Qian, V. Castranova, B. H. Jiang, and X. Shi, "Cyanidin-3-glucoside, a natural product derived from blackberry, exhibits chemopreventive and chemotherapeutic activity," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 281, no. 25, pp. 17 359-17 368, 2006.
- [6] L. Tavares, I. Figueira, G. J. McDougall, H. L. Vieira, D. Stewart, P. M. Alves, R. B. Ferreira, and C. N. Santos, "Neuroprotective effects of digested polyphenols from wild blackberry species," *European Journal of Nutrition*, vol. 52, no. 1, pp. 225-236, 2013.
- [7] J. Zhao, L. C. Davis, and R. Verpoorte, "Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites," *Biotechnology advances*, vol. 23, no. 4, pp. 283-333, 2005.
- [8] J. Oszmiański, P. Nowicka, M. Teleszko, A. Wojdyło, T. Cebulak, and K. Oklejewicz, "Analysis of phenolic compounds and antioxidant activity in wild blackberry fruits," *International journal of molecular sciences*, vol. 16, no. 7, pp. 14 540-14 553, 2015.
- [9] V. Gowd, T. Bao, and W. Chen, "Antioxidant potential and phenolic profile of blackberry anthocyanin extract followed by human gut microbiota fermentation," *Food research international*, vol. 120, pp. 523-533, 2019.
- [10] J. H. Sun, J. J. Luo, L. Tian, C. L. Li, Y. Xing, and Y. Y. Shen, "New evidence for the role of ethylene in strawberry fruit ripening," *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 32, no. 3, pp. 461-470, 2013.
- [11] G. Pérez-Pérez, M. Fabela-Gallegos, M. Vázquez-Barrios, D. Rivera-Pastrana, L. Palma-Tirado, E. Mercado-Silva, and V. Escalona, "Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit," in *VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits —Ethical and Technological Issues* 1194, pp. 1329-1336, 2016.
- [12] A. A. Fernández-Jaramillo, C. Duarte-Galvan, L. García-Mier, S. N. Jiménez-García, and L. M. Contreras-Medina, "Effects of acoustic waves on plants: An agricultural, ecological, molecular and biochemical perspective," *Scientia Horticulturae*, vol. 235, pp. 340-348, 2018.
- [13] M. Edgley, D. Close, P. Measham, and D. Nichols, "Physiochemistry of blackberries (*Rubus* l. subgenus *Rubus* watson) affected by red drupelet reversion," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 153, pp. 183-190, 2019.
- [14] K. Manning, "Isolation of a set of ripening-related genes from strawberry: their identification and possible relationship to fruit quality traits," *Planta*, vol. 205, no. 4, pp. 622-631, 1998.
- [15] A. T. Chávez-Bárceñas, C. Alonso-Ojeda, and P. A. García-Saucedo, "Proteómica de

- la maduración de frutos de zarzamora (*Rubus* sp.) cultivados en México, una primera aproximación," *Ra Ximhai*, vol. 8, no. 3, 2012.
- [16] M. C. Martínez-Ballesta, L. López-Pérez, M. Hernández, C. López-Berenguer, N. Fernández-García, and M. Carvajal, "Agricultural practices for enhanced human health," *Phytochemistry Reviews*, vol. 7, no. 2, pp. 251-260, 2008.
- [17] Y. Shen and H. Yang, "Effect of preharvest chitosan-g-salicylic acid treatment on postharvest table grape quality, shelf life, and resistance to botrytis cinerea-induced spoilage," *Scientia Horticulturae*, vol. 224, pp. 367-373, 2017.
- [18] H. Barikloo and E. Ahmadi, "Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging," *Scientia horticulturae*, vol. 240, pp. 496-508, 2018.
- [19] W. E. Durrant and X. Dong, "Systemic acquired resistance," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 42, pp. 185-209, 2004.
- [20] L. C. van Loon, M. Rep, and C. M. Pieterse, "Significance of inducible defense-related proteins in infected plants," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 44, pp. 135-162, 2006.
- [21] M. Shafiee, T. Taghavi, and M. Babalar, "Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry," *Scientia horticulturae*, vol. 124, no. 1, pp. 40-45, 2010.
- [22] X. Lu, D. Sun, Y. Li, W. Shi, and G. Sun, "Pre-and post-harvest salicylic acid treatments alleviate internal browning and maintain quality of winter pineapple fruit," *Scientia Horticulturae*, vol. 130, no. 1, pp. 97-101, 2011.
- [23] B. M. Moreno, R. G. Rizzolo, C. de Moraes Fagundes, A. Bender, and L. E. C. Antunes, "Efeito do ácido salicílico na pré-colheita de amora preta cv. tupy," *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 16, no. 2, pp. 234-239, 2015.
- [24] A. Lo'ay, "Preharvest salicylic acid and delay ripening of 'superior seedless' grapes," *Egyptian journal of basic and applied sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 227-230, 2017.
- [25] A. Lo'ay and M. El-Boray, "Improving fruit cluster quality attributes of 'flame seedless' grapes using preharvest application of ascorbic and salicylic acid," *Scientia Horticulturae*, vol. 233, pp. 339-348, 2018.
- [26] M. Rinaudo, "Chitin and chitosan: properties and applications," *Progress in polymer science*, vol. 31, no. 7, pp. 603-632, 2006.
- [27] M. Aider, "Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry," *LWT-food science and technology*, vol. 43, no. 6, pp. 837-842, 2010.
- [28] A. A. Salgado and J. R. Clark, "'Crispy' blackberry genotypes: A breeding innovation of the university of arkansas blackberry breeding program," *HortScience*, vol. 51, no. 5, pp. 468-471, 2016.
- [29] S. G. Lee, T. M. Vance, T.-G. Nam, D.-O. Kim, S. I. Koo, and O. K. Chun, "Evaluation of ph differential and hplc methods expressed as cyanidin-3-glucoside equivalent for measuring the total anthocyanin contents of berries," *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 10, no. 3, pp. 562-568, 2016.
- [30] S. M. Paunović, P. Mašković, M. Nikolić, and R. Miletić, "Bioactive compounds and antimicrobial activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) berries and leaves extract obtained by different soil management system," *Scientia Horticulturae*, vol. 222, pp. 69-75, 2017.
- [31] M. M. Giusti and R. E. Wrolstad, "Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy," *Current protocols in food analytical chemistry*, no. 1, pp. F1-2, 2001.
- [32] M. Edgley, D. Close, and P. Measham, "Red drupelet reversion in blackberries: A complex of genetic and environmental factors," *Scientia Horticulturae*, vol. 272, p. 109555, 2020.
- [33] J. C. Cocuron, M. I. Casas, F. Yang, E. Grotewold, and A. P. Alonso, "Beyond the wall: High-throughput quantification of plant soluble and cell-wall bound phenolics by liquid chromatography tandem mass spectrometry," *Journal of Chromatography A*, 2018.
- [34] F. Muro-Villanueva, X. Mao, and C. Chapple, "Linking phenylpropanoid metabolism, lignin deposition, and plant growth inhibition," *Current opinion in biotechnology*, vol. 56, pp. 202-208, 2019.
- [35] J. R. Clark, E. T. Stafne, H. K. Hall, and C. E. Finn, "Blackberry breeding and genetics," *Plant breeding reviews*, vol. 29, p. 19, 2007.
- [36] J. V. Tezotto-Uliana, G. P. Fargoni, G. M. Geerdink, and R. A. Kluge, "Chitosan applications pre-or postharvest prolong raspberry shelf-life quality," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 91, pp. 72-77, 2014.
- [37] T. Drevinskas, G. Naujokaitytė, A. Maruška, M. Kaya, I. Sargin, R. Daubaras, and L. Česonienė, "Effect of molecular weight



- of chitosan on the shelf life and other quality parameters of three different cultivars of actinidia kolomikta (kiwifruit)," *Carbohydrate polymers*, vol. 173, pp. 269-275, 2017.
- [38] W. Zhang, H. Zhao, J. Zhang, Z. Sheng, J. Cao, and W. Jiang, "Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism," *Food chemistry*, vol. 289, pp. 160-168, 2019.
- [39] C. D. Grande-Tovar, C. Chaves-Lopez, A. Serio, C. Rossi, and A. Paparella, "Chitosan coatings enriched with essential oils: Effects on fungi involved in fruit decay and mechanisms of action," Trends in *Food Science & Technology*, vol. 78, pp. 61-71, 2018.
- G. M. Saavedra, N. E. Figueroa, L. A. Poblete, S. Cherian, and C. R. Figueroa, "Effects of pre-harvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit," *Food chemistry*, vol. 190, pp. 448-453, 2016.
- [40] C. Mannozi, U. Tylewicz, F. Chinnici, L. Siroli, P. Rocculi, M. Dalla Rosa, and S. Romani, "Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage," *Food chemistry*, vol. 251, pp. 18-24, 2018.
- [41] M. J. Kim, M. Y. Lee, J. C. Shon, Y. S. Kwon, K.-H. Liu, C. H. Lee, and K. M. Ku, "Untargeted and targeted metabolomics analyses of blackberries-understanding postharvest red drupelet disorder," *Food chemistry*, vol. 300, p. 125 169, 2019.
- [42] A. R. Flores-Sosa, D. Soto-Magaña, L. E. González-de la Vara, L. Sanchez-Segura, M. Bah, D. M. Rivera-Pastrana, G. M. Nava, and E. M. Mercado-Silva, "Red drupelet reversion in blackberries caused by mechanical damage is not linked to a reduction in anthocyanin content," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 180, p. 111618, 2021.