

Conservación fisicoquímica de arándanos tratados con quitosano y ácido salicílico en poscosecha

Surelys Ramos-Bell¹
Gerónimo Diaz-Cayetano¹
Luis Guillermo Hernández-Montiel²
Rita María Velázquez-Estrada¹
Efigenia Montalvo-González¹
Porfirio Gutiérrez-Martínez^{1,§}

¹ Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos-Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tepic. Avenida Tecnológico Núm. 2595, Col. Lagos del Country, Tepic, Nayarit, México. CP. 63175.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. La Paz, Baja California Sur, México. CP. 23096.

Autor para correspondencia: pgutierrez@ittpic.edu.mx.

Resumen

El fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) se caracteriza por sus propiedades antioxidantes debido a su contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y otros. Sin embargo, es susceptible al deterioro, pérdida de su calidad y vida útil. Para conservar sus propiedades fisicoquímicas y su calidad se propone el empleo del tratamiento combinado de quitosano y ácido salicílico como principal objetivo. La investigación se desarrolló durante el año 2022, en la cual se evaluó la conservación de frutos de arándanos en etapa postcosecha mediante la aplicación de un tratamiento combinado de quitosano y ácido salicílico. La evaluación de los parámetros de calidad mostró que la aplicación del tratamiento combinado mantuvo la firmeza de los frutos por más tiempo y redujo la pérdida fisiológica de peso, hasta en un 11%. Los cambios en los sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y color de los arándanos se retrasaron por más días, pero se mantuvo la calidad poscosecha de los frutos. La velocidad de respiración de los arándanos se redujo al aplicar quitosano más ácido salicílico y hubo una inducción de la enzima fenilalanina amonio liasa durante las primeras 24 h de almacenamiento de los arándanos, por efecto del quitosano combinado con ácido salicílico. Mediante esta investigación se llegó a la conclusión de que el quitosano y ácido salicílico como tratamiento combinado, pueden ser una alternativa sustentable al uso de fungicidas para preservar frutos de arándanos en etapa postcosecha.

Palabras clave:

Vaccinium corymbosum, calidad, tratamientos alternativos.



Introducción

La apariencia de un fruto es uno de los aspectos importantes a la hora de seleccionarlo por los consumidores, teniendo en cuenta su firmeza, su color y su olor a primera vista (Liu *et al.*, 2018). Es por ello que mantener estos parámetros de calidad en un fruto fresco es determinante y más en frutos susceptibles como es el caso de los arándanos. Los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) son frutos con piel muy delgada y por ende son más propensos a deteriorarse con más rapidez que otros frutos (Ramos-Bell *et al.*, 2021).

Este fruto ha demostrado que al ser consumido de manera regular puede representar un beneficio para la salud, ya que contiene una importante cantidad de compuestos fenólicos, antocianinas y vitaminas que están relacionadas con la prevención de enfermedades crónico-degenerativas (Chiabrande y Giacalone, 2017). En este sentido, es importante la conservación de este fruto durante su etapa postcosecha mediante la aplicación de un tratamiento adecuado, limpio y que no incluya a los fungicidas sintéticos.

De acuerdo con el destino final de los frutos se establecen distintos requisitos normativos, sin embargo, para aplicar las distintas prácticas agrícolas de control químico, biológico, etc., existe la Norma mexicana Nom-022-Sag/Fito-2016, la cual establece los requisitos específicos que se deben de cumplir. El quitosano es uno de los compuestos aprobados como no tóxicos por la FDA y se ha demostrado su efecto positivo en la preservación de la calidad y poder antifúngico sobre cultivos en periodo postcosecha como el mango y jitomate (Moreno-Hernández *et al.*, 2022; Rodríguez-Guzmán *et al.*, 2022). Li *et al.* (2021) plantea que el quitosano puede formar una barrera física sobre el fruto de arándano disminuyendo la respiración, deshidratación y la senescencia.

Por otro lado, se encontró que este compuesto es de fácil acceso y bajo costo, que puede proteger a los frutos de ataques de fitopatógenos ya que posee efecto antifúngico y puede inducir ciertas enzimas relacionadas con la defensa del fruto (Herrera-González *et al.*, 2021). La maduración de los frutos, la tasa de respiración y la pérdida de agua son reducidos gracias al efecto que posee el quitosano de formación de una película semipermeable, que controla el intercambio gaseoso y reduce la pérdida de transpiración.

También se demostró que la aplicación de quitosano activa la resistencia del fruto al aumentar la actividad de algunas enzimas relacionadas con la defensa, como la quitinasa, glucanasa, fenilalanina amonio liasa, peroxidasa y polifenol oxidasa (Berumen Varela *et al.*, 2015). Para lograr un mayor efecto antifúngico al utilizar quitosano y disminuir concentraciones es recomendable combinarlo con otro compuesto de similar naturaleza (Ramos-Bell *et al.*, 2022).

El ácido salicílico es un componente de origen natural cuya aplicación en cultivos como las uvas mantuvo estables parámetros fisicoquímicos como la firmeza y sólidos solubles (Qin *et al.*, 2015); asimismo, su aplicación en manzanas preservó la calidad y vida útil de las mismas (da Rocha-Neto *et al.*, 2016).

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico natural presente en muchas plantas, se deriva del aminoácido fenilalanina y es una molécula que activa respuestas de defensa contra el ataque de varios patógenos. La aplicación de AS exógeno induce la síntesis de proteínas PR, aumento en la concentración de especies reactivas de oxígenos y producción de fitoalexinas antimicrobianas en frutos (Shi *et al.*, 2018).

En este sentido se propuso como objetivo de este estudio evaluar el efecto combinado de quitosano y ácido salicílico sobre la conservación de frutos de arándano en etapa poscosecha, evaluando parámetros de calidad importantes como la firmeza, el color, peso, contenido de sólidos solubles y otros, así como la determinación de la actividad enzimática como posible mecanismo de acción de defensa de los frutos.



Materiales y métodos

Material vegetal

Arándanos en etapa de madurez fisiológica fueron recolectados durante los meses de febrero y marzo del año 2022 de un huerto comercial de la localidad de San Luis de Lozada del estado de Nayarit. Como criterio para la cosecha se utilizó el color azul de los frutos. Estos fueron previamente lavados y desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio al 2% antes de sus respectivos análisis.

Preparación de soluciones

Se empleó quitosano comercial (47.5 kDa, 90% desacetilación, Golden-Shell Co., China) y ácido salicílico (Sigma Aldrich, USA). Para el tratamiento combinado de ácido salicílico y quitosano se utilizaron concentraciones de 0.07 y 1.5% respectivamente, de acuerdo con un trabajo previo (Ramos-Bell *et al.*, 2022).

La concentración de ácido salicílico se obtuvo partiendo de una solución stock a 50 mM y posteriormente diluida en agua destilada y glicerina al 5%, se ajustó su pH a 5.5 en solución de KOH al 10% (p/v). Para el quitosano se obtuvo su concentración en agua destilada estéril con adición de ácido acético a 1%, se ajustó su pH a 5.6 con NaOH 1N y se mantuvo la solución en agitación constante durante 24h (Ramos-Guerrero *et al.*, 2018).

Ambos compuestos se mezclaron para formar el tratamiento combinado, la aplicación del tratamiento a los frutos se realizó mediante inmersión por 2 min, posteriormente se dejaron secar y se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) y de refrigeración (4 °C) bajo una humedad relativa de 90-95%. Su período de almacenamiento fue de 9 días y se tomaron muestras cada tercer día para sus análisis fisicoquímicos.

Evaluación fisicoquímica

Firmeza

La firmeza se registró como la fuerza de resistencia al corte utilizando un texturómetro (Stable Micro Systems, TA-XT Plus, Reino Unido) equipado con un punzón de 2 mm de diámetro. Los resultados se expresaron en Newton (Montalvo-González *et al.*, 2021).

Pérdida fisiológica de peso

El porcentaje de pérdida fisiológica de peso se determinó teniendo en cuenta el peso inicial y final de los frutos tratados y los frutos controles. Se utilizó una báscula digital (Ohaus Corporation, USA), los resultados se expresaron como porcentaje de peso fresco perdido sobre la base del peso inicial del fruto (Liu *et al.*, 2018).

Color

Se utilizó un colorímetro (High-Quality Colorimeter, Shanghai, China) evaluando las coordenadas L^* , a^* , b^* siendo: L^* , la luminosidad; a^* , el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y b^* , el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos).

Sólidos solubles totales, pH y acidez titulable

El contenido de sólidos solubles se expresó como °Brix, para ello se homogenizaron 5 g de muestra y se colocaron unas gotas de jugo en un refractómetro digital (Hanna Instruments, HI 96801, USA), previamente calibrado con agua destilada. Para la detección de pH se homogeneizaron 5 g de muestra de fruta y se analizaron en un potenciómetro (Sension TM, Barcelona, España),

previamente calibrado con buffers estándar. La acidez titulable se determinó mediante titulación con una solución valorada de hidróxido de sodio 0.1 N utilizando 5 g de pulpa de arándano homogeneizados con 25 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Estos análisis se rigieron por el método de la (AOAC, 2005).

Índice de maduración

El índice de maduración fue calculado como la relación entre el valor de sólidos solubles totales y acidez titulable (Rokayya *et al.*, 2021).

Velocidad de respiración

La velocidad de respiración se determinó usando el método propuesto por Tovar *et al.* (2001) con ligeras modificaciones, como el tiempo de permanencia de los frutos en el contenedor, así como la cantidad de muestra. Los frutos (60 g) se colocaron en contenedores herméticos, de volumen conocido. Éstos se cerraron por 1 h a temperatura ambiente (25 °C) o refrigeración (4 °C).

Del espacio libre de cabeza se tomaron 0.4 ml de muestra que fue inyectada en un cromatógrafo de gases (HP modelo 6890, USA) con una columna HP-PlotQ (15 m x 0.53 mm y 40 µm de espesor de película), un detector de ionización de flama (FID) y uno de conductividad térmica (TCD). El inyector y el detector se utilizó a 250 °C, el flujo del aire y del hidrógeno fue de 400 ml min⁻¹ y 30 ml min⁻¹ respectivamente. La velocidad de respiración se reportó como ml CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Actividad enzimática

Se partió de un extracto crudo enzimático triturando 2 g de arándano con y sin tratamiento, de acuerdo con Herrera-González *et al.* (2022) se homogenizaron con 10 ml de solución amortiguadora de fosfato de sodio a 100 mM (pH 6.4) y 0.2 g de polivinilpolipirrolidona (PVPP) a 4 °C. Se centrifugaron a 6 000 rpm por 30 min a 4 °C y se tomó el sobrenadante para volverlo a centrifugar bajo las mismas condiciones.

Se tomaron 0.1 ml del extracto crudo y 0.9 ml de L-fenilalanina 1 mg mL⁻¹, se incubó a 40 °C durante 30 min. La reacción se detuvo agregando 0.25 ml de ácido clorhídrico 5 N. Las absorbancias se determinaron a 290 nm en un espectrofotómetro (Thermo scientific, Genesys 10S UV-Vis, Wisconsin, USA). Se definió como una unidad de actividad enzimática equivalente a 1 mmol de ácido transcinámico producido por minuto por mg de proteínas.

Análisis estadístico

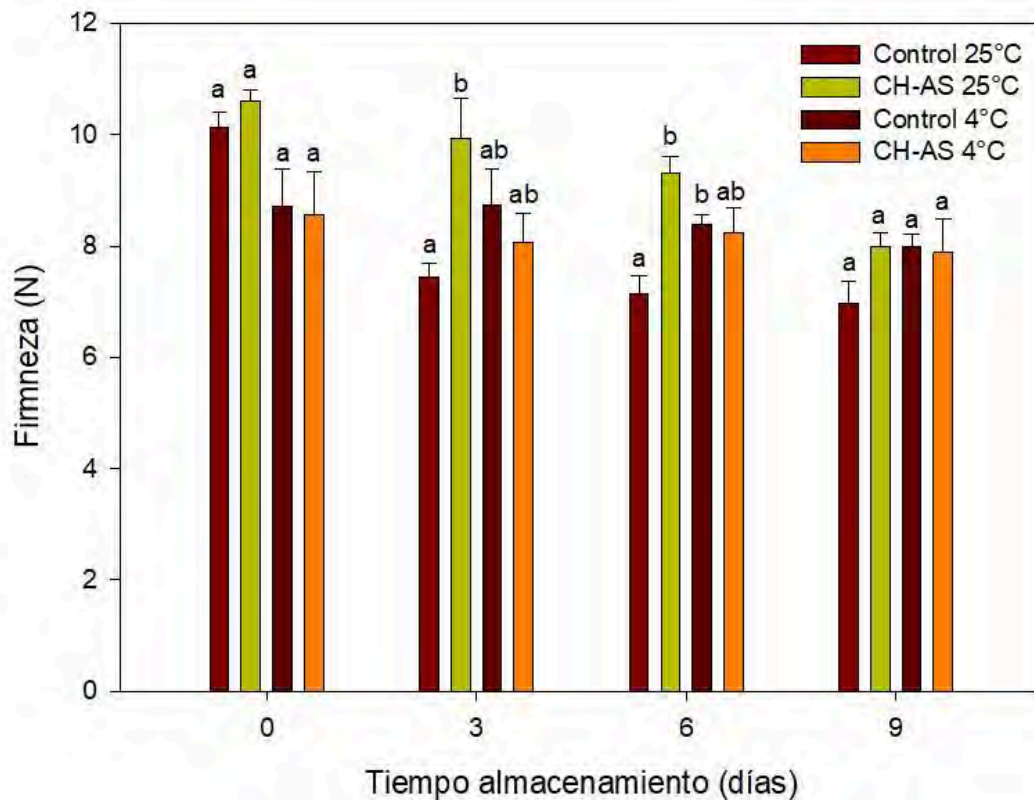
Se llevó a cabo un diseño completamente al azar mediante un análisis de varianza (Anova). Se analizaron las diferencias de medias mediante la prueba LSD Fisher ($p < 0.05$). Para todos los ensayos se utilizaron 10 frutos por tratamiento, se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento y los ensayos se realizaron por duplicado. El análisis estadístico se realizó mediante el programa Statistica v12.0 (StatSoft Inc., 2013).

Resultados y discusión

Firmeza

La firmeza no fue significativamente diferente ($p > 0.05$) entre el tratamiento combinado y el control al final del almacenamiento a 25 °C a pesar de ello, la firmeza en el tratamiento combinado de quitosano y ácido salicílico fue un 6% menor que el control (Figura 1). Por otro lado, la firmeza en los frutos de arándanos almacenados a 4 °C se mantuvo estable con pequeñas variaciones entre los tratamientos.

Figura 1. Firmeza de frutos de arándanos almacenados a 25 °C y 4 °C bajo la aplicación de la combinación quitosano-ácido salicílico (CH-AS). Los valores son expresados como media \pm error estándar (n= 10).



Resultado similar fue obtenido por Li *et al.* (2021) indicando que el quitosano evitó de manera efectiva el aumento de la pérdida de firmeza en arándanos durante su almacenamiento en frío. La firmeza de los frutos es un parámetro de calidad importante, que se ve afectada por la hidrólisis de carbohidratos y la degradación de las pectinas en la pared celular de los frutos (Jiang *et al.*, 2016).

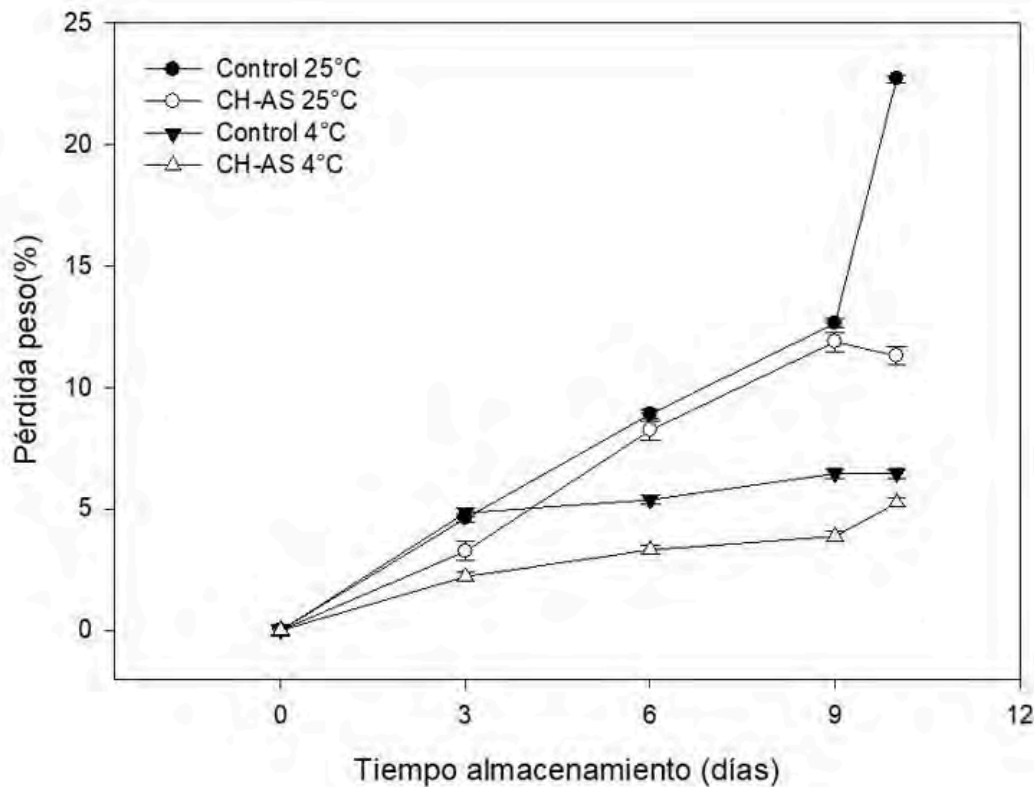
La temperatura de refrigeración mantiene la firmeza de los frutos estable por más tiempo, y esto puede darse por la disminución a bajas temperaturas de la actividad de enzimas hidrolíticas como la poligalacturonasa, galactosidasas, pectina metilesterasa y β -1,4-glucanasas (Montalvo-González *et al.*, 2021).

Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso en los frutos almacenados a 25 °C mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos (Figura 2), siendo menor la reducción del peso al aplicar CH-AS con un 11% de pérdida de peso en comparación con un 22% de reducción del peso para el control. En cambio, el almacenamiento a 4 °C en frutos tratados y sin tratar mantuvo más baja la tasa de pérdida de peso y sin diferencias significativas ($p > 0.05$) con valores que oscilaron entre los 5.25-6.45%. Este comportamiento se debe a que la refrigeración retarda la maduración del fruto, ya que los procesos de respiración son dependientes de la temperatura (Shao *et al.*, 2019).



Figura 2. Pérdida de peso de frutos de arándanos almacenados a 25 °C y 4 °C bajo la aplicación de la combinación quitosano-ácido salicílico (CH-AS). Los valores son expresados como media \pm error estándar (n= 10).



Se ha mencionado que el quitosano puede actuar como una barrera física en la superficie de las frutas provocando una reducción en el intercambio de gases, así como de la respiración del fruto, lo que conlleva a la extensión de la vida útil de los frutos (Duan *et al.*, 2019). El efecto del ácido salicílico se atribuye a que al ser este un inhibidor del transporte de electrones mitocondriales es probable que disminuya la disponibilidad de sustrato para las reacciones catabólicas, contribuyendo al mantenimiento del contenido del peso de la fruta (da Rocha-Neto *et al.*, 2015).

Color

Los resultados de color para el parámetro L^* tendieron a disminuir durante el almacenamiento a 25 °C y sin diferencia ($p > 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 1). La luminosidad (L^*) muestra una tendencia decreciente debido al proceso de maduración de los frutos (Chiabrando *et al.*, 2017). En cuanto a los parámetros a^* y b^* los tratamientos mostraron incremento en ambas temperaturas de almacenamiento indicando un color azul más intenso en los frutos. Sin embargo, los valores en el fruto control fueron más altos que en los frutos con CH-AS, aunque con una ligera diferencia significativa.



Cuadro 1. Parámetros de color en arándanos tratados con combinación de quitosano-ácido salicílico (CH-AS) durante almacenamiento a 25 y 4 °C.

	Tratamientos	Almacenamiento 25 °C		Almacenamiento 4 °C	
		Día 0	Día 9	Día 0	Día 9
L	Control	35.01 ±0.65 a	32.54 ±0.63 a	35.24 ±0.69 a	32.07 ±0.7 a
	CH-AS	34.27 ±0.72 a	33.36 ±0.59 a	32.58 ±0.91b	33.67 ±0.6 a
a	Control	-3.89 ±0.12 a	-4.7 ±0.07 a	-3.79 ±0.11 a	-5.62 ±0.18a
	CH-AS	-3.2 ±0.2 b	-4.23 ±0.18 b	-4.54 ±0.11 b	-4.63 ±0.13 b
b	Control	-7.04 ±0.23 a	-5.77 ±0.21 a	-6.67 ±0.23 a	-6.63 ±0.23 a
	CH-AS	-6.02 ±0.22 b	-5.1 ±0.18 a	-6.80 ±0.35 b	-6.30 ±0.25 a

* Los valores son expresados como media ± error estándar (n= 10). Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a ($p < 0.05$).

Estos resultados indican que el tratamiento combinado CH-AS no afecta los parámetros de color en el fruto de arándano. Esto respalda lo que se ha reportado en estudios anteriores en frutos de arándanos tratados con recubrimientos comestibles (Eldib *et al.*, 2020). El cambio de color en arándanos es resultado de los procesos bioquímicos que ocurren de forma natural en los frutos, durante la etapa de maduración en el arándano ocurre la síntesis de antocianinas que son los compuestos que le otorgan la pigmentación azul al fruto (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021).

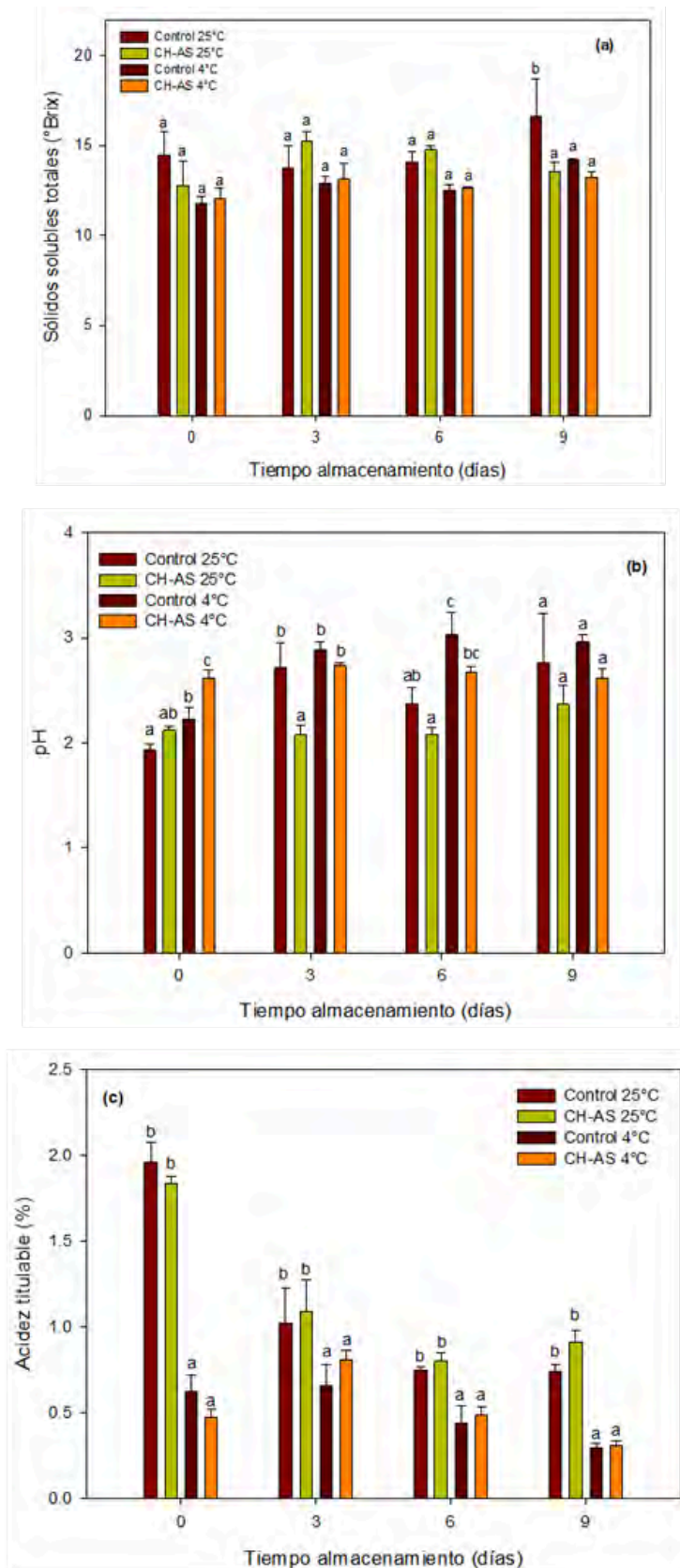
Teniendo en cuenta que las antocianinas son compuestos fenólicos con gran poder antioxidante que contribuyen al mantenimiento de la salud humana, es importante que estos compuestos se mantengan en el fruto y no ocurra la oxidación de estos para que el fruto no pierda su valor biológico. Un aumento o variación en el color de los arándanos puede conducir a la pérdida del valor comercial del fruto (Xu *et al.*, 2016), de ahí la importancia de mantener estables estos parámetros durante cierto período de almacenamiento de los frutos.

Sólidos solubles totales, pH y acidez titulable

Con respecto al contenido de sólidos solubles totales a 25 °C se obtuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con valores de 16.6 y 13.53 °Brix para el control y CH-AS respectivamente. Los frutos con y sin tratamientos almacenados a 4 °C no presentaron diferencias significativas; sin embargo, el último día de almacenamiento el control presentó un mayor contenido de sólido solubles totales (Figura 3a).



Figura 3. Sólidos solubles totales, pH y acidez titulable de arándanos almacenados a 25 °C y 4 °C bajo la aplicación de la combinación de quitosano y ácido salicílico. Los valores son expresados como media \pm error estándar (n= 10).



El contenido de azúcares, ácidos orgánicos y vitaminas son los principales sustratos de la respiración (Li *et al.*, 2021), en un fruto en etapa de madurez fisiológica existe una mayor demanda de estos sustratos, por tanto, es de esperar un aumento en el contenido de sólidos solubles totales. Con la aplicación de quitosano en combinación con ácido salicílico, se obtuvo un menor contenido de sólidos solubles con respecto al control.

Un recubrimiento de quitosano aplicado a frutos de arándanos disminuyó el contenido de sólidos solubles con respecto al control, ya que el quitosano puede disminuir el metabolismo de los frutos mediante la modificación de la atmósfera que rodea el fruto (Eldib *et al.*, 2020). El ácido salicílico por su parte es capaz de mantener el contenido de sólidos solubles, así como otras características fisicoquímicas evitando la degradación de los frutos con el tiempo (da Rocha-Neto *et al.*, 2016).

El valor de pH en los frutos control almacenados a 25 y 4 °C fue mayor que en los frutos con CH-AS (Figura 3b). Resultados similares reportaron Mannozi *et al.* (2017), quienes aplicaron recubrimientos comestibles y disminuyeron los valores de pH del arándano, debido a la reducción de la velocidad de los procesos metabólicos que convierten el almidón y los ácidos de la fruta en azúcar.

El contenido de acidez titulable en los frutos a 25 °C, Figura 3c, no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$). Los frutos a 4°C mostraron una menor tasa de disminución en el contenido de acidez siendo el control el que menor valor mostró (0.3%) y el tratamiento con CH-AS preservó un mayor contenido de acidez titulable durante el almacenamiento (0.51%). Vieira *et al.* (2016) menciona que, durante el proceso respiratorio de los frutos, éstos consumen ácidos orgánicos asociado con una reducción en los valores de acidez titulable. De acuerdo con lo reportado y lo obtenido en este estudio se puede plantear que el tratamiento combinado de CH-AS aplicado al fruto de arándano reduce el consumo de ácidos orgánicos como el ácido cítrico, el cual se encuentra en mayor proporción en este fruto.

Índice de maduración

El índice de maduración evaluado para frutos de arándanos tratados fue menor bajo la aplicación de la combinación de CH-AS con diferencias significativas con respecto al control (Cuadro 2). Tomando en cuenta que el valor óptimo del índice de madurez de arándanos frescos a 25 °C es de 35 (Rokayya *et al.*, 2021), la aplicación combinada de quitosano y ácido salicílico fue efectiva en el retraso de la maduración. Resultados similares fueron reportados por Rokayya *et al.* (2021), estudio en el cual se obtuvo una reducción en el índice de maduración al aplicar quitosano a frutos de arándanos bajo almacenamiento controlado a temperaturas ambiente y de refrigeración.

Cuadro 2. Índice de maduración de arándanos tratados con CH-AS a 25 y 4 °C.

Tratamientos	Índice de maduración
Control (25 °C) CH-AS (25 °C) Control (4°C) CH-AS (4 °C)	54.41 ±5.33 b 27.42 ±5.47 a 19.23 ±0.42 a 15.74 ±0.91 a

Los valores son expresados como media ± error estándar (n= 10). Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos a ($p < 0.05$).

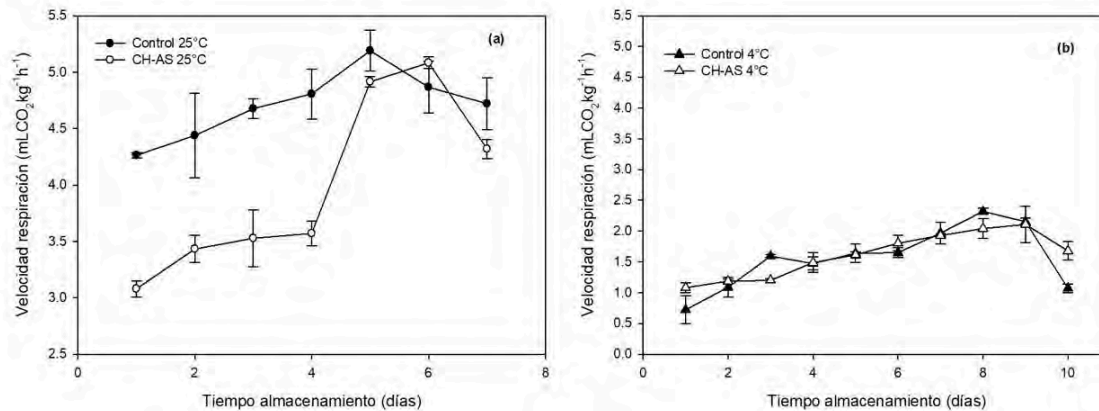
En estos resultados es evidente el efecto que tiene la temperatura sobre el proceso de maduración, ya que se ralentiza el desarrollo de los sólidos solubles totales de los frutos. Anteriormente también se reportó una reducción en la relación SST/AT de arándanos bajo aplicación de recubrimientos de quitosano con respecto al control, lo que indica el retraso del proceso de maduración de los frutos (Eldib *et al.*, 2020).

Velocidad de respiración

La velocidad de respiración de los arándanos almacenados a 25 °C (Figura 4a) y 4 °C (Figura 4b), aumentó gradualmente con el tiempo. Los frutos no tratados alcanzaron su pico máximo de producción de CO₂ al día 5 (5.19 ml CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) y día 8 (2.32 ml CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) para las temperaturas

de 25 °C y 4 °C respectivamente. En los frutos almacenados a 25 °C, el tratamiento de CH-AS, además de retrasar la aparición del pico climatérico un día más con respecto al control, disminuyó el valor de la velocidad de respiración.

Figura 4. Velocidad de respiración de frutos tratados con quitosano-ácido salicílico (CH-AS) a temperaturas de almacenamiento de 25 °C (a) y 4 °C (b).



El quitosano puede retardar el proceso respiratorio que involucra la pérdida de agua y producción de CO₂ gracias a la capacidad que tiene para formar una barrera semipermeable sobre la superficie del fruto, disminuyendo el oxígeno disponible y por ende la producción de CO₂ (Ortiz-Duarte *et al.*, 2019). Por otro lado, en los frutos almacenados a 4 °C, la combinación de CH-AS fue eficiente ya que retardó la aparición del pico climatérico con respecto al control.

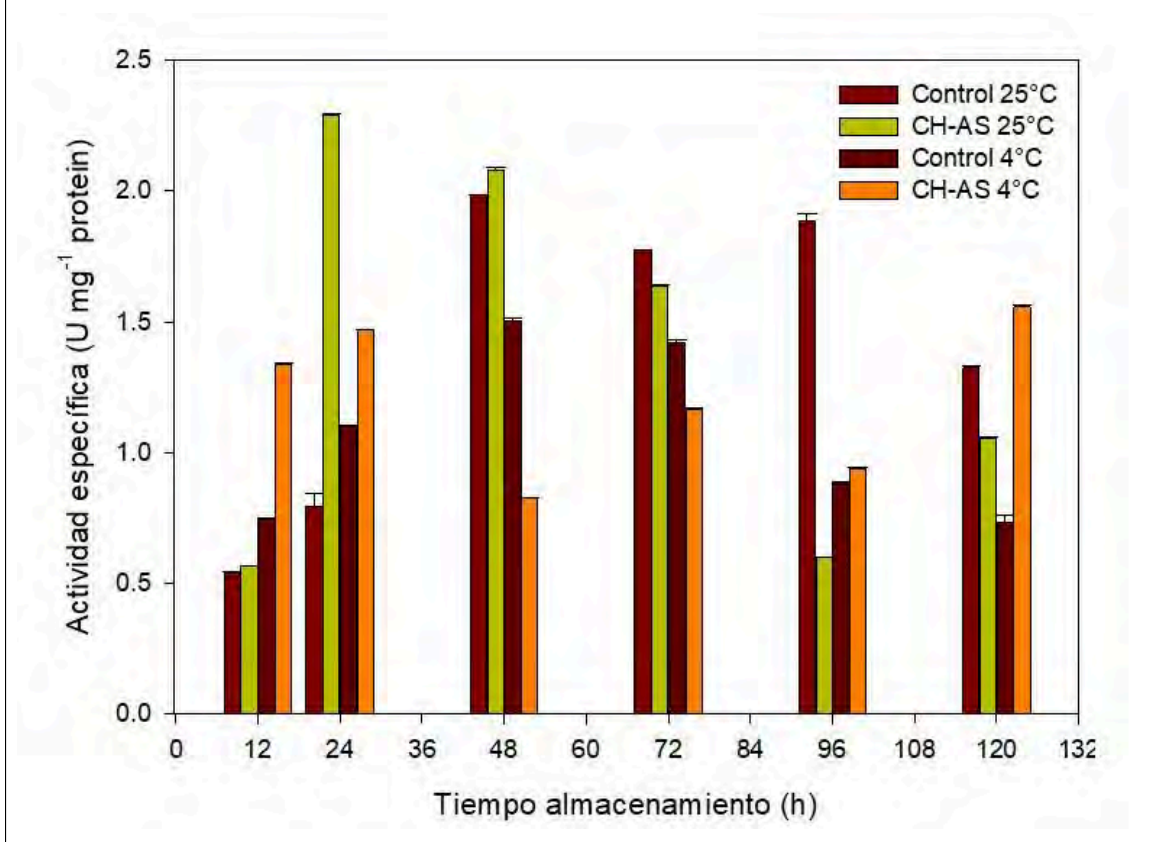
La temperatura sin duda juega un papel muy importante en el proceso respiratorio de las frutas, ya que a menor temperatura (4 °C) disminuye la tasa respiratoria (ml CO₂ kg⁻¹ h⁻¹). Las bajas temperaturas disminuyen las actividades enzimáticas involucradas en el proceso respiratorio (Montalvo-González *et al.*, 2021) y es por ello por lo que la tasa de respiración de los arándanos es menor al ser almacenados a 4 °C con respecto a aquellos almacenados a temperatura ambiente.

Actividad enzimática de la enzima fenilalanina amonio liasa

La actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) fue alta en frutos con CH-AS en las primeras 12 h de almacenamiento a 4 °C, Figura 5. Mientras que la actividad máxima durante el almacenamiento a 25 °C se produjo a las 24 h para los arándanos con el tratamiento combinado de CH-AS con un valor de 2.29 U mg⁻¹ proteína. La tendencia de la actividad de la PAL en los frutos almacenados a 25 °C y 4 °C fue similar; sin embargo, pasadas las 12 h de almacenamiento la actividad a 4 °C fue menor.



Figura 5. Actividad enzimática de arándanos tratados con quitosano-ácido salicílico (CH-AS) a 25 y 4 °C. Los valores son expresados como media \pm error estándar (n= 10).



El quitosano se ha descrito como un compuesto que puede inducir las distintas respuestas de defensa del fruto mediante la activación de ciertas enzimas relacionadas con la defensa como la PAL (Herrera-González *et al.*, 2021). Asimismo, el ácido salicílico es un inductor de resistencia de frutos siendo este su principal mecanismo de acción con importantes resultados en este sentido (Serna-Escolano *et al.*, 2021).

La PAL es considerada una enzima clave dentro del arsenal defensivo del fruto contra agentes bióticos y abióticos, ya que es la encargada de sintetizar importantes metabolitos secundarios como fenoles, fitoalexinas y ligninas a través de la vía de los fenilpropanoides (Zhao *et al.*, 2022). De acuerdo con estos resultados podemos referir que el tratamiento combinado de CH-AS actúa de forma aditiva, de acuerdo con estudios previos (Ramos-Bell *et al.*, 2022), induciendo la actividad de la enzima PAL en frutos de arándano en etapa postcosecha.

Conclusiones

El sabor es de los principales indicadores de calidad de un fruto, y el sabor involucra lo que es el contenido de sólidos solubles, la acidez titulable y el pH del fruto. En este sentido el tratamiento combinado de CH-AS mantuvo los niveles de sólidos solubles y pH por debajo del control y hubo una menor disminución del contenido de acidez titulable con respecto al control. Los arándanos tratados se mantuvieron firmes por más tiempo y su pérdida fisiológica de peso fue menor con respecto al control.

La aplicación de CH-AS disminuyó la velocidad de respiración de los arándanos y provocó la rápida activación de la enzima fenilalanina amonio liasa. De acuerdo con estos resultados podemos aseverar que los compuestos quitosano y ácido salicílico combinados en concentraciones de 1.5 y 0.07% respectivamente, son una alternativa eficiente para preservar la calidad fisicoquímica de frutos de arándanos en etapa postcosecha.

Bibliografía

- 1 AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical. Chemists international. 15th Ed. Arlington, Virginia. 40-88 pp.
- 2 Berumen-Varela, G.; Partida-Coronado, D.; Leonardo-Jiménez, O.; López-Chacón, Alhelí Verónica; Alejandra Martina y Martínez Gutiérrez, Porfirio. 2015. "Efecto del quitosano en la inducción de resistencia contra *Colletotrichum* sp. en mango (*Mangifera indica* l.) cv. Tommy Atkins." Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 23(66):16-21.
- 3 Chiabrando, V. and Giacalone, G. 2017. Quality evaluation of blueberries coated with chitosan and sodium alginate during postharvest storage. Int. Food Res. J. 24(4):1553-61.
- 4 Chiabrando, V. X.; Peano, C. y Giacalone, G. 2017. The efficacy of different postharvest treatments on physico-chemical characteristics, bioactive components and microbiological quality of fresh blueberries during storage period. Food Res. 1(6):240-248. <https://doi.org/10.26656/fr.2017.6.105>.
- 5 da Rocha-Neto, A. C.; Maraschin, M. y Di Piero, R. M. 2015. Antifungal activity of salicylic acid against *Penicillium expansum* and its possible mechanisms of action. Int. J. Food Microbiol. 215(1):64-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.018>.
- 6 da Rocha-Neto, A. C.; Luiz, C.; Maraschin, M. y Di Piero, R. M. 2016. Efficacy of salicylic acid to reduce *Penicillium expansum* inoculum and preserve apple fruits. Int. J. Food Microbiol. 221(16):54-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.007>.
- 7 Díaz-Rodríguez, L. B y Avila-Hernández, R. M. 2021. Tecnologías postcosecha para promover la vida de anaquel de frutos pequeños. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 22(1):30-49.
- 8 Duan, C.; Meng, X.; Meng, J.; Khan, I. H.; Dai, L.; Khan, A. and An, X. 2019. Chitosan as a preservative for fruits and vegetables: a Review on Chemistry and Antimicrobial Properties. J. Bioresources and Bioproducts. 4(1):11-21. <https://doi.org/10.21967/jbb.v4i1.189>.
- 9 Eldib, R.; Ebtihal K.; Abeer E.; Nada B. and Mahmoud H. 2020. Chitosan, nisin, silicon dioxide nanoparticles coating films effects on blueberry (*Vaccinium Myrtillus*) Quality. Coatings. 10(10):1-12. <https://doi.org/10.3390/coatings10100962>.
- 10 Herrera-González, J. A.; Bautista-Baños, S.; Serrano, M.; Gianfranco, R. and Gutiérrez-Martínez, P. 2021. Nonchemical treatments for the pre and post-harvest elicitation of defense mechanisms in the fungi-avocado pathosystem. Molecules. 26(22):1.12. <https://doi.org/10.3390/molecules26226819>.
- 11 Herrera-González, J. A.; Hernández-Sánchez, D. A.; Bueno-Rojas, D. A.; Ramos-Bell, S.; Velázquez-Estrada, R. M.; Bautista-Rosales, P. U. and Gutiérrez-Martínez, P. 2022. Effect of commercial chitosan on *in vitro* inhibition of *Colletotrichum siamense*, fruit quality and elicitor effect on the postharvest avocado fruit. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 21(1):1-5. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2706>.
- 12 Jiang, H.; Sun, Z.; Jia, R.; Wang, X. and Huang, J. 2016. Effect of chitosan as an antifungal and preservative agent on postharvest blueberry. J. Food Qual. 39(5):516-523. <https://doi.org/10.1111/jfq.12211>
- 13 Li, Y.; Rokayya, S.; Jia, F.; Nie, X.; Xu, J.; Elhakem, A.; Almatrafi, M.; Benajiba, N. and Helal, M. 2021. Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. Scientific reports. 11(1):1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80056-z>.

- 14 Liu, B.; Wang, K.; Shu, X.; Liang, J.; Fan, X. and Sun, L. 2018. Changes in fruit firmness, quality traits and cell wall constituents of two highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during postharvest cold storage. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 1(246):557-562. Doi: 10.1016/j.scienta.2018.11.042.
- 15 Mannozi, C.; Cecchini, J. P.; Tylewicz, U.; Siroli, L.; Patrignani, F.; Lanciotti, R.; Rocculi, P.; Dalla, R. M. and Romani, S. X. 2017. Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life. *LWT Food Sci. Technol.* 85(B):440-444. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.056>.
- 16 Montalvo-González, E.; Nolasco-Gonzalez, Y.; García-Magaña, M. L; Medellín-Bautista, C. M.; Hernández-Fuentes, L. M. y González-Hernández, H. 2021. Efecto de recubrimientos en la maduración de yaca almacenada en condición simulada de mercadeo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(2):219-234. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2319>.
- 17 Moreno-Hernández, C. L.; Zambrano-Zaragoza, M. L.; Velázquez-Estrada, R. M.; Sánchez-Burgos, J. A. and Gutierrez-Martínez, P. 2022. Identification of a *Colletotrichum* species from mango fruit and its *in vitro* control by GRAS compounds. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* . 21(3):1-11. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2777>.
- 18 Ortiz-Duarte, G.; Pérez-Cabrera, L. E.; Artés-Hernández, F. and Martínez-Hernández, G. B. 2019. Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh cut melon. *Postharvest Biol. Technol.* 147:174-184 pp. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.021>.
- 19 Qin, X.; Hongmei, X.; Changhui, X.; Zhifang, Y.; Rong, Y.; Zikang, C. and Linyuan, S. 2015. Biocontrol of gray mold in grapes with the yeast *Hanseniaspora uvarum* alone and in combination with salicylic acid or sodium bicarbonate. *Postharvest Biol. Technol.* 100:160-67. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.010>.
- 20 Ramos-Bell, S.; Hernández-Montiel, L. G.; González-Estrada, R. R. and Gutiérrez-Martínez, P. 2021. Main diseases in postharvest blueberries, conventional and eco-friendly control methods: A review. *LWT Food Sci. Technol.* 149:7-12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112046>.
- 21 Ramos-Bell, S.; Hernández-Montiel, L. G.; Velázquez-Estrada, R. M.; Sánchez-Burgos, J. A.; Bautista-Rosales, P. U. and Gutiérrez-Martínez, P. 2022. Additive effect of alternative treatment to chemical control of *Botrytis cinerea* in blueberries. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* . 21(3):1-13. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2839>.
- 22 Ramos-Guerrero, A.; González-Estrada, R. R.; Hanako-Rosas, G.; Bautista-Baños, S.; Acevedo-Hernández, G.; Tiznado-Hernández, M. E. and Gutiérrez-Martínez, P. 2018. Use of Inductors in the control of *colletotrichum gloeosporioides* and *rhizopus stolonifer* isolated from soursop fruits: *In Vitro* tests. *Food Sci. Biotechnol.* 27(3):755-63. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0305-5>.
- 23 Rodríguez-Guzmán, C. A.; Montaña-Leyva, B.; Sánchez-Burgos, J. A.; Bautista-Rosales, P. U. y Gutiérrez-Martínez, P. 2022. Chitosan and GRAS substances application in the control of *Geotrichum candidum* isolated from tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* L.) in the state of Nayarit, Mexico: *in vitro* tests. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* . 21(3):1-16. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2790>.
- 24 Rokayya, S.; Fuguo, J.; Yang, L.; Xin, N.; Jingwen, X.; Rui, H.; Huiying, Y.; Sikandar, A.; Manal, M. A. and Mahmoud, H. 2021. Application of nano-titanium dioxide coating on fresh highbush blueberries shelf life stored under ambient temperature. *LWT Food Sci. Technol.* 137:2-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110422>.
- 25 Serna-Escolano, V.; Martínez-Romero, D.; Giménez, M. J.; Serrano, M.; García-Martínez, S.; Valero, D.; Valverde, J. M. and Zapata, P. J. 2021. Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage. *Food Chem.* 338:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128044>.
- 26 Shao, Y. Z.; Zeng, J. K.; Tang, H.; Zhou, Y. and Li, W. 2019. The chemical treatments combined with antagonistic yeast control anthracnose and maintained the

- quality of postharvest mango fruit. *J. Integr. Agric.* 18(5):1159-1169. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62128-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62128-8).
- 27 Shi, Z.; Fang, W.; Yanyuan, Lu, Y. and Jia, D. 2018. "Combination of chitosan and salicylic acid to control postharvest green mold caused by *Penicillium digitatum* in grapefruit fruit." *Scientia Horticulturae*. 233:54-60. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.039>.
- 28 Tovar, B.; García, H. S. y Mata, M. 2001. Physiology of precut mango. i. acc and acc oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Res. Int.* 34(2-3):207-15. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00154-X).
- 29 Vieira, J. M; Flores-López, M. L.; Jasso, D.; Rodríguez, D.; Sousa, M. C.; Vicente, A. A. and Martins, J. T. 2016. Effect of chitosan Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 16:88-97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.011>.
- 30 Zhao, L.; Lan, C.; Tang, X.; Li, B.; Zhang, X.; Gu, X. and Zhang, H. 2022. Efficacy of *Debaryomyce hansenii* in the biocontrol for postharvest soft rot of strawberry and investigation of the physiological mechanisms involved. *Biol. Control.* 174:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105011>.
- 31 Xu, F.; Wang, S.; Xu, J.; Liu, S. and Li, G. 2016. Effects of combined aqueous chlorine dioxide and UV-C on shelf-life quality of blueberries. *Postharvest biology and technology.* 117:125-131. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.012>.





Conservación fisicoquímica de arándanos tratados con quitosano y ácido salicílico en poscosecha

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2024
Date accepted: 01 May 2024
Publication date: 08 August 2024
Publication date: Jul-Aug 2024
Volume: 15
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3391
DOI: 10.29312/remexca.v15i5.3391

Categories

Subject: Artículo

Palabras claves:

Palabras claves:

Vaccinium corymbosum
calidad
tratamientos alternativos

Counts

Figures: 5
Tables: 2
Equations: 0
References: 31
Pages: 0