

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
Máster Universitario en Tecnología y Calidad Agroalimentaria



Efecto de la aplicación en precosecha de Melatonina y ácido γ -aminobutírico (GABA) en la calidad y conservación de albaricoque.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Convocatoria Ordinaria curso 2018/2019

AUTOR: Carlos García Fernández

DIRECTOR/ES: Pedro Javier Zapata Coll



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

VISTO BUENO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2018 / 2019.

Director/es del trabajo
Director: Pedro Javier Zapata Coll Co-director: Jorge Medina Santamarina

Dan su visto bueno al Trabajo Fin de Máster

Título del Trabajo
Efecto de la aplicación en precosecha de Melatonina y ácido γ -aminobutírico (GABA) en la calidad y conservación de albaricoque.
Alumno
Carlos García Fernández

Orihuela, a 4 de Julio de 2019

Pedro Javier Zapata Coll

Jorge Medina Santamarina

Firma/s tutores trabajo



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Título: Efecto de la aplicación en precosecha de Melatonina y ácido γ -aminobutírico (GABA) en la calidad y conservación de albaricoque.

Title: Effect of the pre-harvest application of melatonin and γ -aminobutyric acid (GABA) on the quality and conservation of apricot.

Modalidad (proyecto/experimental): Experimental

Type (project/research): Research

Autor/Author: Carlos García Fernández

Director/es/Advisor: Pedro Javier Zapata

Convocatoria: Ordinaria 2018/2019

Month and year: Julio 2019

Número de referencias bibliográficas/number of references: 24

Número de tablas/Number of tables: 0

Número de figuras/Number of figures: 11

Número de planos/Number of maps: 0

Palabras clave: Daños por frío, firmeza, producción de etileno, postcosecha, *Prunus armeniaca*.

Key words: chilling injury, firmness, ethylene production, postharvest, *Prunus armeniaca*.



MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

RESUMEN (mínimo 10 líneas):

El albaricoque es una fruta climatérica que se deteriora rápidamente tras la cosecha. Su conservación se alarga con temperaturas cercanas a 0°C, pero sin embargo a estas temperaturas aparece daños por frío, que deterioran la calidad del fruto. El uso de Melatonina y GABA para granada y cereza ha mostrado efectos beneficiosos en postcosecha, sin embargo, no existen estudios en albaricoque. En este trabajo se ha llevado a cabo la aplicación de los tratamientos Melatonina 0.1 mM y GABA 10 mM en dos variedades de albaricoque 'Mikado' y 'Colorado' en tres aplicaciones anteriores a la recolección. Los resultados mostraron que la aplicación de los tratamientos tuvo un efecto beneficioso en la calidad del fruto en el momento de la recolección y tras 21 días de almacenamiento aumentando la resistencia a daños por frío, aunque este incremento variaba según la variedad y el parámetro estudiado.

ABSTRACT (10 lines or more):

Apricot is a climacteric fruit that deteriorates rapidly after harvest. Its conservation lasts with temperatures close to 0°C, but nevertheless at these temperatures it appears damages by cold, that deteriorate the quality of the fruit. The use of melatonin and GABA for pomegranate and cherry has shown beneficial effects in postharvest, however, there are no studies on apricot. In this work, the application of the 0.1 mM melatonin and 10 mM GABA treatments in two varieties of apricot 'Mikado' and 'Colorado' was carried out in three applications prior to harvesting. The results showed that the application of the treatments had a beneficial effect on the quality of the fruit at the time of collection and after 21 days of storage boosting the chilling injury resistance, although this increase varied according to the variety and parameter studied.

1. Introducción.

El albaricoque es una de las frutas más importantes en las zonas templadas, con una producción mundial en torno a 4,2 millones de toneladas. La mayoría de la producción se concentra en Europa alcanzando casi el millón de toneladas y Asia con más de dos millones y medio, siendo menor en América, África y Oceanía. En Europa la producción se concentra en Italia con más de 250 mil toneladas seguida por España con más de 160 mil y Francia con casi 150 mil, situándose dicha producción por detrás del melocotón y la nectarina (FAO, 2017). En España las zonas de mayor producción se sitúan en el Sureste Peninsular, sobre todo en la Región de Murcia donde se han dado producciones entre 113.000 y 130.000 toneladas. El árbol del albaricoque pertenece a la familia de las Rosáceas, es una especie diploide, las flores tienen forma individual o doble en tallos cortos con hasta 30 estambres y los árboles tienen un crecimiento vertical vigoroso, pero no tan vertical como las ciruelas. La floración se inicia en los meses de marzo y abril y permanece durante dos semanas adaptándose a las condiciones climáticas.

El albaricoque es una fruta climatérica con forma de drupa similar a la ciruela, con una delgada piel exterior que encierra la pulpa amarilla. Destaca por su alto contenido en polifenoles y carotenoides con efectos bioactivos protectores del hígado y el corazón, actuando también como antioxidantes y antiinflamatorios, y microelementos como Zn, Ca, Cu, Fe, Mg, Na, Mn, P y K, y una composición química del 86,3% en agua, 0,4% en proteínas, 0,1 % en lípidos, 6,8% en carbohidratos y 1,5% en fibra. El hueso del albaricoque se ha empleado tradicionalmente para prevenir enfermedades de la piel como el acné o la psoriasis y otras como la infertilidad y la inflamación ocular (Fратиanni et al., 2018). Otros componentes importantes son el fitoeno, fitoflueno, licopeno o el betacaroteno el principal precursor de la provitamina A. Estos carotenoides presentan también una potente capacidad antioxidante reduciendo los riesgos de padecer enfermedades cardíacas, ciertos tipos de cáncer, aliviar el estrés oxidativo, mejora el sistema inmunológico y protege contra la degeneración macular relacionada con la edad. Los ácidos orgánicos que forman parte del albaricoque, además de regular la dulzura y acidez del fruto mantienen el equilibrio ácido-base del intestino y permiten mejorar la biodisponibilidad de hierro (Kafkaletou et al., 2019). En el albaricoque el color es un rasgo clave de la calidad y es causado por las antocianinas, un grupo de compuestos fenólicos naturales que dan colores desde el rojo al azul. Estos compuestos confieren el color característico que puede ir desde el amarillo al rojo en el fruto, contribuyendo a la calidad visual del lado no ruborizado. Durante la maduración el albaricoque experimenta diversos cambios fisiológicos como la degradación de clorofila, la síntesis de carotenoides y la acumulación de antocianinas. Las dos principales antocianinas son la cianidina-3 O-rutinosida y la cianidina -3 O-glucósido, que alcanzan mayores concentraciones en el punto óptimo de madurez del fruto, observándose una correlación con los azúcares (sacarosa, glucosa, fructosa y sorbitol) del fruto (Huang et al., 2019). El albaricoque es un fruto suave, con hueso duro y sensible a enfermedades y a temperaturas altas y bajas. Los albaricoques están protegidos frente a podredumbres debido a su alto contenido en acidez, SO₂ y pH ácido (Southwick, 2003).

Algunas recomendaciones para el almacenado del albaricoque son: mantener la temperatura a 6°C, a un 75% de humedad relativa y secos, mantener estas condiciones constantes envolver el fruto para evitar su exposición al aire y protegerlos de la luz directa (Southwick, 2003). Por lo general, las condiciones óptimas para el almacenamiento del albaricoque establecen temperaturas entre los 6°C y 10°C, con una vida útil de aproximadamente 30 días. A 0°C, la conservación logró tiempos de hasta 90 días, afectando únicamente a los compuestos aromáticos, siendo uno de los síntomas de daños por frío (Liu et al., 2019). Otros trabajos han mostrado daños por frío que han generado pérdida de jugosidad y formación de gel en el interior (Fan et al., 2019). También existen otros fenómenos que pueden provocar daños y afectar a la calidad del fruto como son las heladas tardías. Esta clase de sucesos tiene lugar cuando las temperaturas caen por debajo de los cero grados en la etapa de desarrollo desde los capullos de las flores hasta la formación de los frutos jóvenes. Para evitar esto se está trabajando con árboles frutales que presenten una mayor tolerancia al estrés por heladas o a través de la modificación genética para retrasar la floración (Dumanoglu et al., 2019). Otro factor importante que puede ocurrir en cualquier etapa de producción es el daño mecánico producido por el contacto entre frutas, el ataque de animales, el clima o la manipulación (Hematomás). El albaricoque es extremadamente delicado soportando energías de impacto por debajo de los 0,3 J inferiores a las del melocotón, la nectarina, el aguacate etc. Esto puede provocar la ruptura de la membrana, pardeamientos, oxidación de compuestos y mayor facilidad para el ataque de microorganismos (Hussein et al., 2018). Finalmente, la sharka, una enfermedad causada por el virus *Plum pox* constituye una de las principales causas de pérdida de cultivos, causando en el albaricoque cambios de coloración en frutas y hojas, deformaciones, caída previa a la cosecha y gomosis. Por este motivo se intenta trabajar y diseñar variedades que sean más resistentes a este virus (Rubio et al., 2008).

La Melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina) es una hormona bien conocida que media muchos procesos biológicos en animales. En las plantas, fue identificada en 1995 y se ha demostrado que está involucrada en numerosos procesos fisiológicos como el crecimiento, desarrollo y respuestas al estrés de las mismas. La Melatonina actúa como eliminador de radicales libres en los compartimentos celulares mitigando el estrés oxidativo, además de proteger a las plantas contra una variedad de estreses ambientales como el frío, el calor, la salinidad y la sequía. Otros estudios muestran que la tolerancia mediada por la Melatonina está asociada con la regulación de genes que responden al frío (Ding et al., 2017). Resultados similares se han observado en las plantas del tomate, y del té (*Camellia sinensis*), por medio de la activación de los mecanismos de las enzimas antioxidantes (Li et al., 2018). En frutos no climatéricos como la granada, el tratamiento con Melatonina tras la cosecha ha mostrado resultados favorables aumentando significativamente la tolerancia al enfriamiento con un menor pardeamiento de la cáscara, una mayor integridad de la membrana y una menor pérdida de electrolitos y acumulación de malondialdehído (Jannatizadeh, 2019). Los mismos efectos se observaron en fresas, donde se estudió el color, la firmeza, la acidez y el contenido en sólidos solubles, considerándose un tratamiento apto para reducir los daños por frío y la senescencia del fruto. (Liu et al., 2018).

La aplicación de Melatonina antes de la cosecha en cerezas mostró un efecto inhibitorio de la maduración, así como un retardo en la acumulación de antocianinas y citoquinonas (Tijero et al., 2019). En frutos climatéricos como la pera se observó que la aplicación de Melatonina postcosecha provocó la inhibición de la síntesis de etileno retrasando la pérdida de firmeza (Zhai et al., 2018). El tratamiento con Melatonina postcosecha en melocotón retrasó la senescencia, la incidencia de la descomposición y la tasa de respiración, así como la firmeza y los sólidos solubles (Gao et al., 2016).

El ácido γ -aminobutírico (GABA) es un aminoácido no proteico de cuatro carbonos y un intermedio involucrado en el ciclo del ácido tricarboxílico. En las plantas se considera un metabolito de la respuesta al estrés biótico y abiótico. (Wang et al., 2014). El GABA se metaboliza a través de una vía corta llamada derivación GABA, participa en la degradación del citrato y la derivación está estrechamente relacionada con el metabolismo central del carbono y el nitrógeno. El gaba se sintetiza a partir de protones y glutamato y se transporta a la mitocondria para producir succinato (Sheng et al., 2016). En frutos no climatéricos como el calabacín tratado con GABA durante su almacenamiento se obtuvieron resultados favorables en la reducción de lesiones, en la pérdida de peso y en la muerte celular (Palma et al., 2019). En cítricos redujo el consumo de citratos y aminoácidos importantes, aumentó la resistencia a los factores ambientales y disminuyó la tasa de podredumbre de la fruta (Sheng et al 2017). Otros estudios postcosecha realizados sobre frutas climatéricas como la pera han mostrado resultados favorables reduciendo el pardeamiento y los daños por frío (Li et al., 2019), en arándano el tratamiento mejoró la acumulación de compuestos fenólicos totales y flavonoides (Ge et al., 2018) y en el plátano se obtuvieron menores daños por frío, una reducción en la degradación de electrolitos y promovió una mayor acumulación de fenoles y prolina (Wang et al., 2014). Yang et al (2011) aplicó una disolución de concentración 5 mM de GABA tras la cosecha del melocotón y los almacenó en condiciones de frío cercanas a los 0°C. En este estudio, se observó que el tratamiento inhibió significativamente la incidencia de los frutos por lesiones de frío, mejoró las actividades de enzimas antioxidantes e incrementó los contenidos de carga energética.

1. Objetivos.

Estos estudios han mostrado resultados favorables aumentando la resistencia a los daños por frío e incrementar el tiempo de vida útil, alterando lo menos posible la composición de los frutos ya sean climatéricos o no. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos muestran una aplicación del tratamiento postcosecha, sin existir tampoco referencias al albaricoque, ni al uso de Melatonina y GABA en una etapa precosecha. Por ello, el objetivo de nuestro trabajo ha sido estudiar los efectos de los tratamientos precosecha de Melatonina 0.1 mM y GABA 10 mM aplicados en tres momentos clave del desarrollo del fruto, sobre la severidad de los daños por frío, así como en los parámetros de calidad del fruto como son; la tasa de respiración, la tasa de producción de etileno, el contenido en sólidos solubles totales, la acidez titulable, los pérdidas de peso (%), la firmeza y los parámetros de color (L^* , a^* , b^*).

2. Material y métodos.

3.1 Material vegetal y tratamientos.

El experimento se llevó a cabo en una finca comercial en la localidad de Cieza (Murcia), sobre albaricoques (*Prunus armeniaca L.*) de las variedades ‘Colorado’ y ‘Mikado’. Los árboles fueron tratados con los elicitores Melatonina y ácido γ -aminobutírico (GABA) (Sigma Aldrich, Madrid). Las concentraciones ensayadas fueron 0.1 mM (conteniendo 1 mL L⁻¹ Tween-20) de Melatonina y 10 mM (conteniendo 1 mL L⁻¹ Tween-20) y un tratamiento control con agua destilada (conteniendo 1 mL L⁻¹ Tween-20) y se conservaron a baja temperatura y en ausencia de luz para evitar su degradación. Estas concentraciones fueron seleccionadas en base a experimentos previos realizados por el Grupo de Investigación en postrecolección de Frutas y Hortalizas de la Universidad Miguel Hernández. Se aplicaron en tres momentos clave del fruto: 1º durante el endurecimiento de hueso, al final del crecimiento y 4 días antes de su recolección siendo estos días el 29 de marzo, el 13 de abril y el 4 de mayo. Los tratamientos se aplicaron en bloques de tres árboles cada uno mediante aplicación foliar por pulverización de 3 L por árbol con mochila antes de la recolección. Los frutos fueron recolectados en base al criterio comercial de color y tamaño, empleándose para analizar la tasa de respiración, producción de etileno y los parámetros de calidad en el momento de la recolección y tras 21 días de almacenamiento. El muestreo se llevó a cabo a 1°C (temperatura de daños por frío) y 8°C (temperatura estándar de comercialización). El esquema de trabajo seguido se muestra en la figura 1, repitiéndose a día 0 y tras 21 días de conservación. Las muestras se conservaron a una humedad relativa de 85-95%.

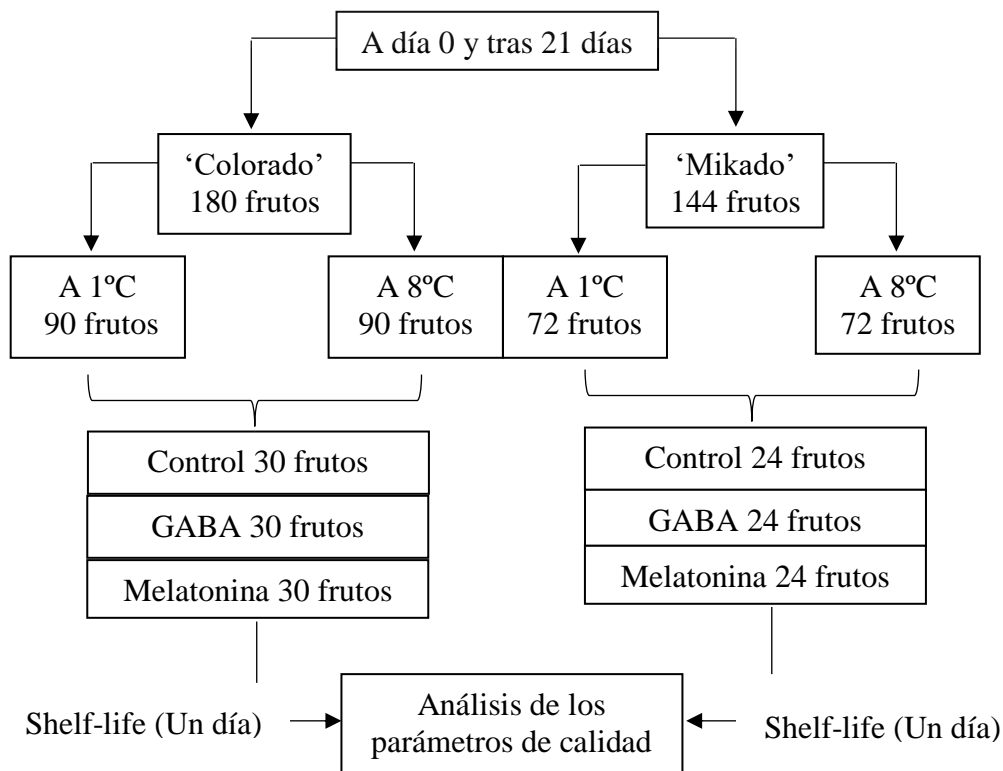


Figura 1. Esquema de trabajo seguido en cada uno de los muestreos.

3.2 Pérdidas de peso (%).

Se midieron los pesos de cada lote en cada uno de los muestreos realizados durante el almacenamiento, expresando estas pérdidas de peso como porcentaje con respecto al peso del día 0.

3.3 Tasa de respiración y producción de etileno.

La tasa de respiración y producción de etileno fue determinada introduciendo los frutos de cada réplica y lote en recipientes herméticos de 3,7 L de capacidad durante 60 minutos. Entonces, 1 mL del aire contenido en estos recipientes es extraído mediante jeringuillas. La tasa de producción de CO₂ se cuantificó usando un cromatógrafo de gases ShimadzuTM GC-14B con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna de relleno concéntrica CTR I (ALLTECH). Los resultados para la tasa de respiración fueron la media \pm ES y se expresaron como mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹. La cuantificación de etileno se cuantificó usando un cromatógrafo de gases (TMGC-2010, Shimadzu, Kyoto, Japan), equipado con un detector de ionización de llama, expresando sus resultados en nL g⁻¹ h⁻¹. De igual modo, la cuantificación del CO₂ se realizó introduciendo 1 mL del aire contenido en el interior del envase en un cromatógrafo de gases Shimadzu 14B, equipado con un detector de conductividad térmica, expresando la tasa de respiración como mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹.

3.4 Color.

La determinación de los parámetros de color se ha realizado mediante software de imagen, utilizando las imágenes tomadas con una cámara digital Nikon D3400 dentro de una caja de luz y fondo negro de los albaricoques ensayados. La configuración de la cámara y condiciones durante la toma de imágenes fue la siguiente: la iluminación fue proporcionada por dos focos led de temperatura de color de 5600 K, velocidad de 1/5s, ISO-200, apertura focal (f) 20 y longitud 35 mm. En la determinación del color externo se tomaron imágenes frontales y traseras de las réplicas de cada tratamiento, colocando los frutos de cada replica al mismo tiempo. Se capturaron un total de seis imágenes, dos por réplica, por tratamiento y en cada muestreo, incluido el día de la recolección. Estas imágenes se guardaron en formato JPEG y se analizaron usando el software ImageJ v1.52a (NIH Image, National Institutes of Health, Bethesda, USA), obteniendo así los parámetros L, a* y b* que, a su vez, han permitido calcular el ángulo Hue.

3.5 Firmeza.

La firmeza de los frutos fue determinada mediante análisis individual de los frutos de cada lote y tratamiento usando un analizador de textura TA-XT plus (Stable Microsystems, Godalming, UK). Se aplica un 5% de deformación del diámetro de la fruta con respecto a la base del texturómetro. Los resultados son expresados como la relación fuerza-deformación (N mm⁻¹).

3.6 Sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT).

Los sólidos solubles totales (SST) fueron medidos por duplicado utilizando el zumo obtenido de los albaricoques de cada lote mediante un refractómetro digital (Atago Co., Japan) y expresado como °Brix.

La acidez titulable (AT) fue analizada por duplicado por titulación de 1 mL del mismo zumo utilizado en los SST, con NaOH hasta un pH de 8.1, expresando el resultado como porcentaje de ácido málico.

3.7 Daños por frío.

Los daños por frío se midieron por medio de la valoración visual de la parte externa del fruto a 1°C. Para ello, se utilizaron las fotos realizadas para medir el color. Un total de 20 fotos por repetición, dos por cada fruto, una para cada cara. Tomando como referencia frutos en condiciones adecuadas según el daño recibido se elaboró una escala hedónica se recoge a continuación en la tabla 1. Después se llevó a cabo una valoración de los frutos situándolos en dicha escala, se hizo la media de las 20 medidas, y posteriormente la media de las 3 repeticiones. Los resultados se expresan como la media \pm ES.

Tabla 1. Escala empleada para la valoración visual de los daños por frío.

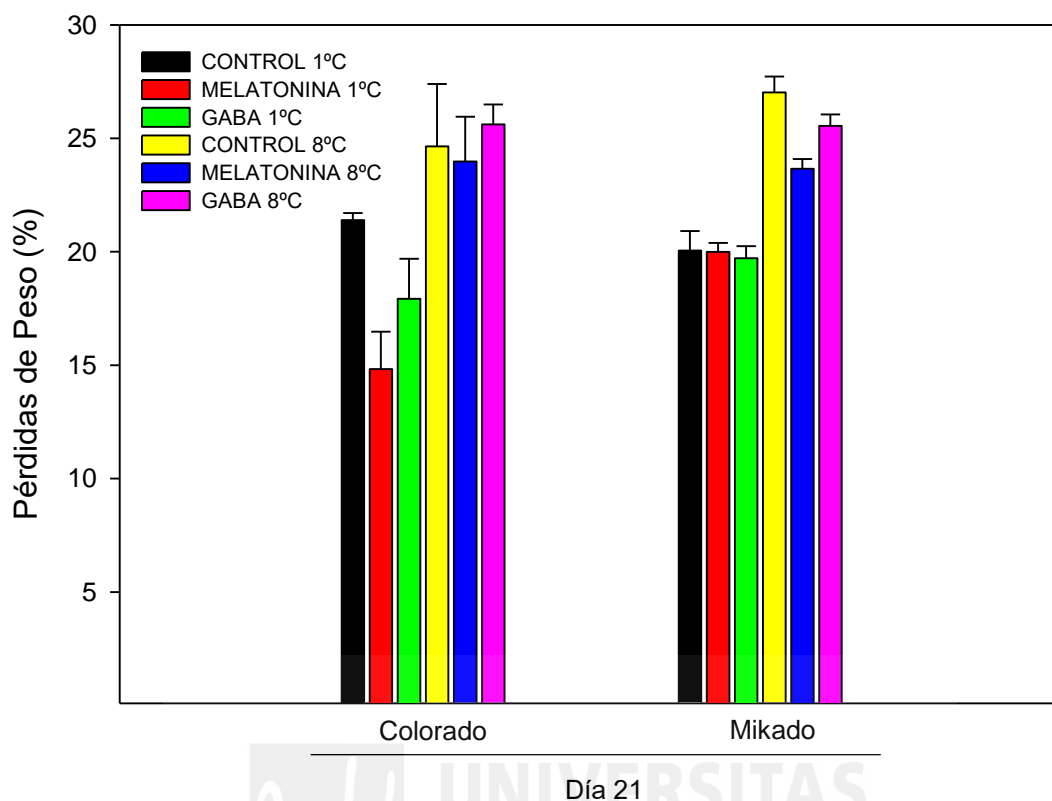
0	1	2	3	4
				

3. Resultados y discusión.

4.1 Pérdidas de peso (%).

Tras 21 días, en el albaricoque ‘Colorado’ se observaron mayores pérdidas de peso en las muestras a 8°C. Las muestras a 1°C presentan menores pérdidas en el tratamiento con Melatonina en torno al 15%, seguidas por las de GABA en torno al 18%, respecto al control con pérdidas >20%. A la temperatura estándar de comercialización, las tres situaciones se equiparán con pérdidas en torno al 25%. Para el albaricoque ‘Mikado’ se observan pérdidas de peso cercanas al 20% con diferencias mínimas entre los tratamientos a la temperatura de daños por frío.

Sin aplicar frío severo el control tuvo una mayor pérdida $\approx 28\%$. Las muestras tratadas presentaron un comportamiento similar al ‘Colorado’, GABA 26% y Melatonina un 24%.



Gráfica 1. Pérdidas de peso (%) para ambas variedades tras 21 días de conservación a temperatura de daños por frío (1°C) y temperatura óptima (8°C).

En el melocotón se ha observado que el tratamiento con Melatonina supuso una reducción en la deshidratación con porcentajes en torno al 4% menos de pérdidas que el control (Gao et al., 2016). En la fresa estos efectos fueron similares al lograr reducir los daños en la piel de la misma, reduciendo con ello las pérdidas de agua (Liu et al., 2018). Estos resultados son similares a los obtenidos en el ‘Colorado’, aunque en el ‘Mikado’ apenas se observan diferencias entre en control y la muestra tratada. La aplicación de GABA en calabacín mostró una reducción en las pérdidas de peso y en las lesiones por frío (Palma et al., 2019).

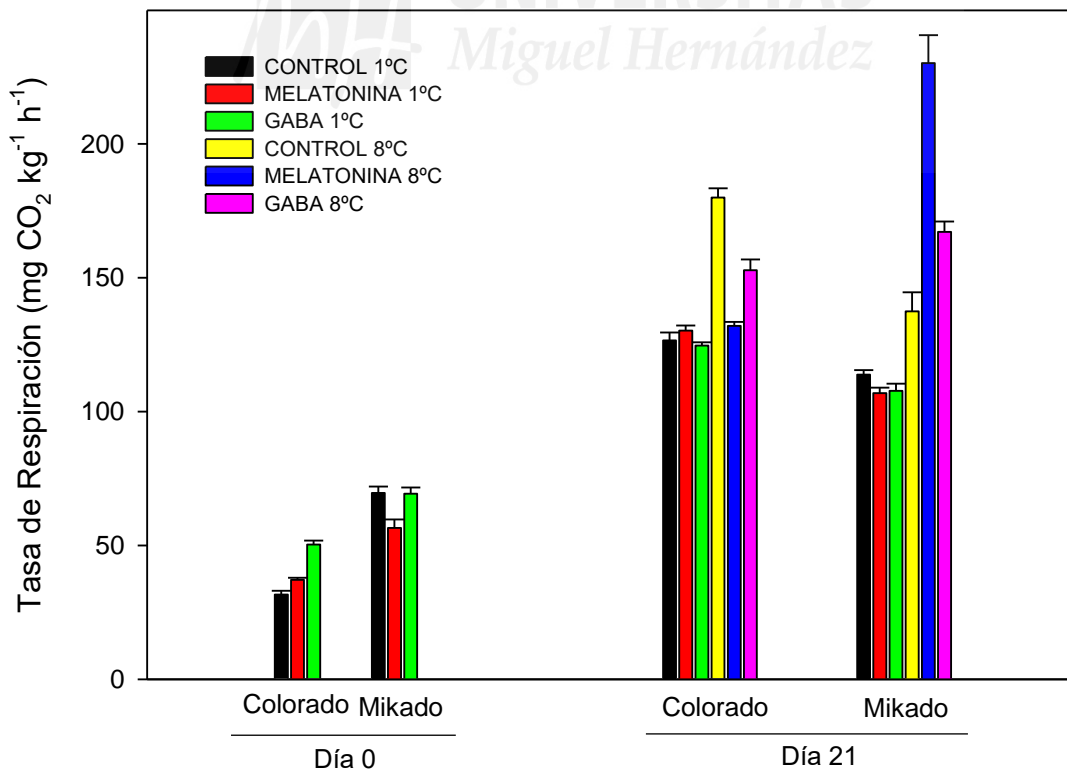
4.2 Tasa de respiración.

La variedad ‘Colorado’ presentó menores tasas de respiración que la variedad ‘Mikado’ $31,6 \pm 1,5$ y $69,6 \pm 2,4$ mg de CO_2 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, eran los frutos de ‘Colorado’ los que mostraron una mayor tasa de respiración. A día 0 la tasa de respiración del ‘Colorado’ se incrementó en las muestras de Melatonina en $5,56$ mg CO_2 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y aún más en las tratadas con GABA con una diferencia de $18,71$ mg CO_2 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ respecto del control.

En el ‘Mikado’ el análisis inicial mostró una reducción en las muestras tratadas con Melatonina ($56,53 \pm 3,16 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), mientras que las tratadas con GABA permanecieron sin cambios respecto al control. En el día 21 la tasa de respiración del ‘Colorado’ aumentó considerablemente respecto a la inicial ($\approx 127 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), siendo mayor en las muestras a 8°C ($\approx 180 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Las muestras tratadas con Melatonina a 1°C presentaron una diferencia similar a la observada a día 0 respecto al control, mientras que las tratadas con GABA redujeron su respiración, de forma inapreciable. A temperatura estándar de comercialización las muestras con Melatonina presentaron una tasa de respiración similar a la equivalente a 1°C y las de GABA alcanzaron valores de $152,8 \pm 4,01 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. En el ‘Mikado’ el análisis final mostró un incremento en la tasa de respiración de $67,90$ y $43,80 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para Melatonina y GABA a 8°C , con tasas de respiración de $230,22 \pm 10,37 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y $167,16 \pm 3,86 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente.

A temperaturas de daños por frío las diferencias mostradas entre los tratamientos (<1) y el control son muy pequeñas ($< 7 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). La variedad del ‘Colorado’ presentó mayores tasas de respiración a 1°C que las del ‘Mikado’, con diferencias entre $12,8$ y $23,31 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A 8°C la mayor diferencia se observa entre los tratamientos de Melatonina, con una diferencia en la tasa de respiración en torno a $100 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, siendo mayor en el ‘Mikado’.

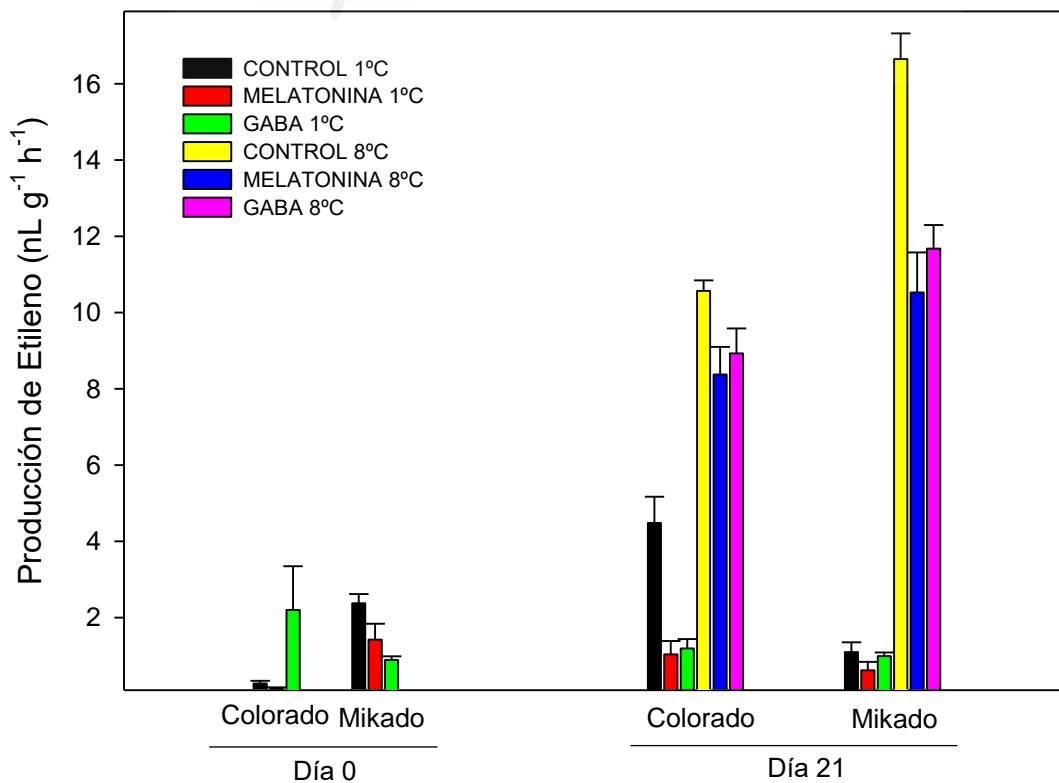


Gráfica 2. Tasa de respiración al inicio y final del estudio para ambas variedades.

4.3 Producción de etileno.

La variedad del ‘Colorado’ tuvo menores tasas de producción de etileno en comparación con la variedad ‘Mikado’ con valores de $0,27 \pm 0,07$ y $2,38 \pm 0,24$ $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$ respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más un día a temperatura ambiente, a 1°C el ‘Colorado’ tuvo una mayor producción de etileno que el ‘Mikado’, sin observarse diferencias significativas entre los tratamientos. A 8°C la producción de etileno fue mayor en el ‘Mikado’ y también en las muestras tratadas.

En el ‘Colorado’ las muestras con Melatonina a tiempo 0 mostraron valores similares respecto al control y en las tratadas con GABA la síntesis de etileno aumentó alcanzando valores de $4,34 \pm 1,36$ $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$. En el ‘Mikado’ los tratamientos presentaron valores de síntesis de etileno menores que el control y con escasas diferencias entre sí ($\approx 0,5$ $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$). El último muestreo del ‘Colorado’ mostró un incremento en la síntesis de etileno entre los controles con valores de $4,48 \pm 0,69$ y $10,57 \pm 0,28$ $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$ para la muestra a 1°C y a 8°C respectivamente. A 1°C ambos tratamientos presentaron valores similares por debajo del control. A temperaturas de comercialización los valores se incrementaron al igual que en el control, pero también se mantuvieron por debajo de los controles. Respecto al ‘Mikado’, no hay variaciones significativas tras los 21 días. A 8°C la síntesis de etileno se dispara en la muestra control, mientras que las muestras tratadas presentan valores menores respecto del control, pero muy superiores en comparación a las muestras a temperaturas de daños por frío. La diferencia más destacada en torno a $3,45$ $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$ está entre los tratamientos de GABA de ambas variedades.



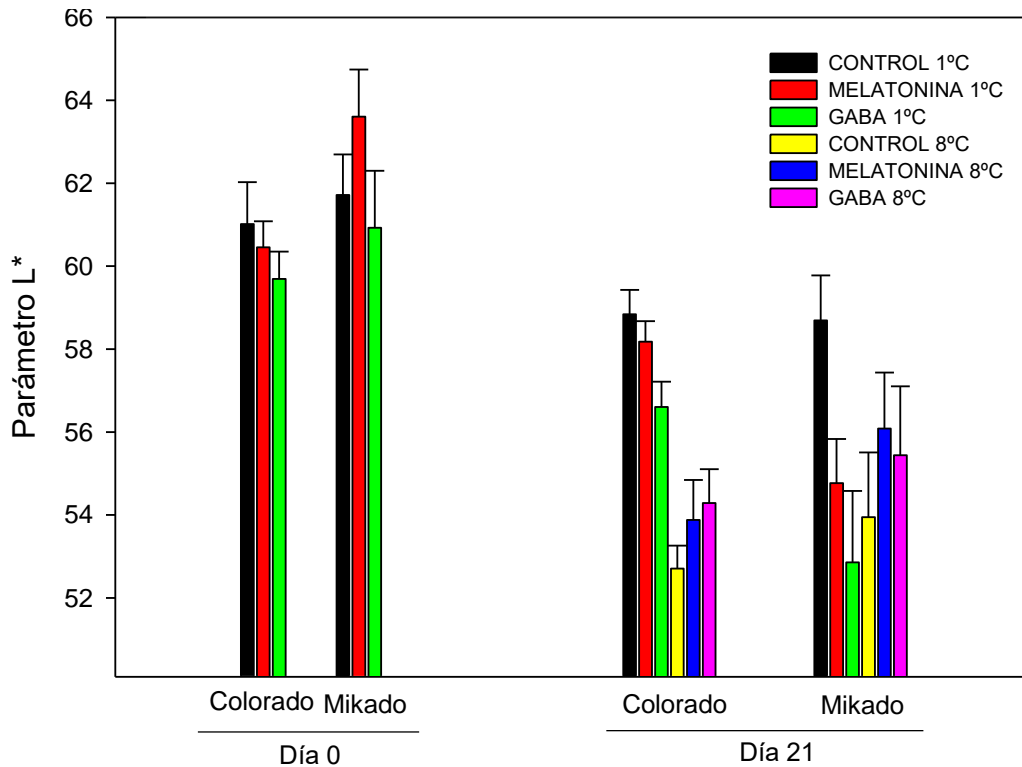
Gráfica 3. Síntesis de etileno al inicio y final del estudio para ambas variedades.

Los resultados obtenidos por Gao et al., (2016) en peras para la síntesis de etileno fueron los esperados en un fruto climatérico. Este parámetro disminuyó a partir del día 2 y se mantuvo estable en las muestras tratadas, mientras que las no tratadas experimentaron un incremento importante que fue aumentando con el tiempo. La diferencia tras 11 días fue $\approx 1,8 \mu\text{g kg}^{-1} \text{h}^{-1}$. En el albaricoque los efectos generados por la Melatonina son similares salvo una menor reducción observada en el ‘Mikado’ a 1°C. El tratamiento con GABA supuso una reducción importante en la síntesis de etileno en manzana (Han et al., 2018) similar a la observada en nuestro estudio.

4.4 Color.

4.4.1 Parámetro L*.

A día 0 las diferencias observadas entre ambas variedades no fueron significativas con valores ≈ 61 . Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, los valores de L* se redujeron en ambas variedades, más a 8°C que a 1°C. En ambos tratamientos el parámetro L* ha disminuido, siendo la única excepción las muestras tratadas con Melatonina en el ‘Mikado’ con valores de $63,61 \pm 1,14$ frente al control. En el día 21 se observaron los siguientes hechos importantes; (1) una reducción en el parámetro L* de los controles, quedando ambos con una luminosidad similar ($\approx 58,9$), (2) a 1°C, en ambas variedades se redujeron los valores de L*, (3) a 8°C controles y tratamientos presentan una reducción importante del parámetro L* respecto a 1°C y (5) a esta temperatura los tratamientos generan el efecto contrario aumentando dicho parámetro.

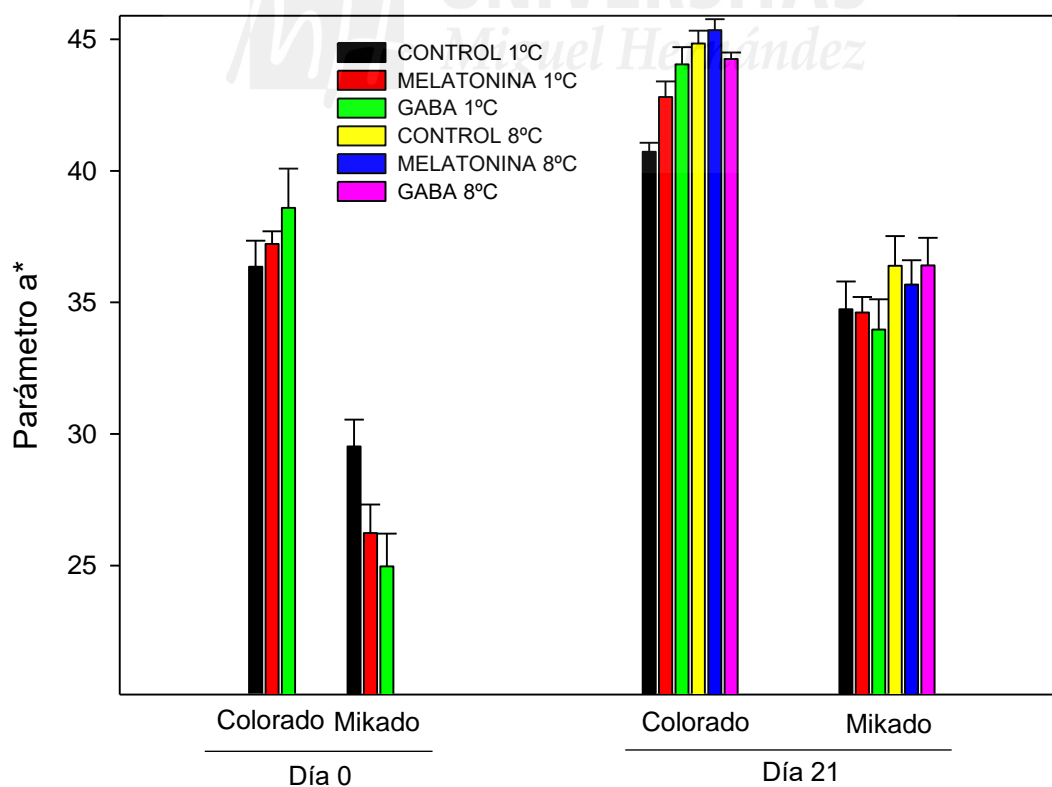


Gráfica 4. Evolución del parámetro L* en 21 días y entre las dos variedades.

4.4.2 Parámetro a*.

A día 0 el parámetro a* fue mayor en la variedad ‘Colorado’ que en la de ‘Mikado’ con valores $36,25 \pm 0,99$ y $29,53 \pm 1,02$ respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, los valores de a* aumentaron en ambas variedades por igual y también en las muestras tratadas. Se observa en la variedad del ‘Colorado’ un pequeño incremento en las muestras tratadas, mientras que en el ‘Mikado’ este efecto es el contrario, reduciéndose el parámetro a*. El ‘Mikado’ presentó un menor color rojizo con una diferencia entre los controles ≈ 7 .

El día 21 el parámetro a* aumentó en ambas variedades, en todos los tratamientos y a todas las temperaturas. En los controles a temperaturas de daños por frío este incremento es ≈ 5 y a $8^\circ\text{C} \approx 8$ unidades en ambas variedades. En el ‘Colorado’ a 1°C las variaciones observadas son similares a las del día 0. A 8°C los tratamientos no presentan diferencias importantes con el control. Al final del ensayo en la variedad del ‘Mikado’, las diferencias también son mínimas a 1°C , siendo el tratamiento con GABA la mayor $\approx 0,8$ respecto al control. A temperaturas de comercialización, la situación es similar con una diferencia máxima del tratamiento de Melatonina respecto al control $\approx 0,7$. La diferencia más observable es que en el ‘Colorado’ los tratamientos a ambas temperaturas han provocado un incremento en el parámetro a* mientras que, en el ‘Mikado’, los tratamientos han generado el efecto contrario.

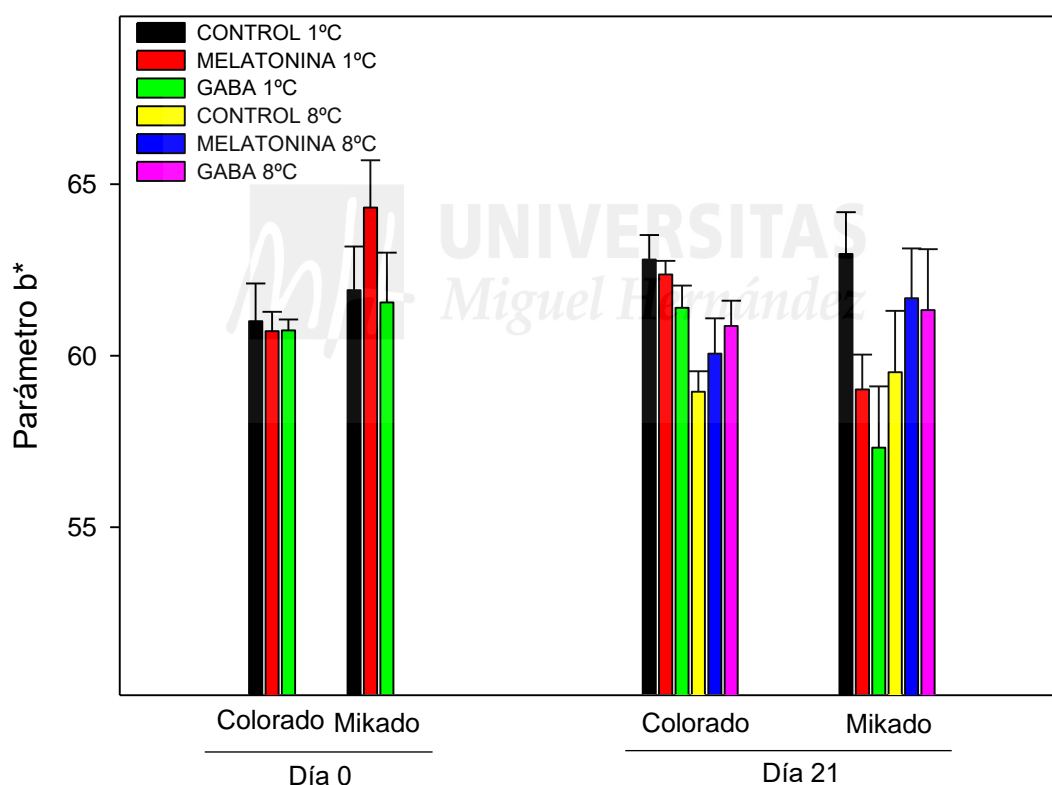


Gráfica 5. Evolución del parámetro a* en 21 días y entre las dos variedades.

4.4.3 Parámetro b*.

A día 0 el parámetro b* tuvo valores similares en ambas variedades; $61,01 \pm 1,1$ y $61,91 \pm 1,27$ para 'Colorado' y 'Mikado' respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, los valores de b* no mostraron variaciones significativas a 1°C, aunque a 8°C si se observó una reducción.

A día 0 el 'Colorado' tuvo variaciones mínimas en cuanto a este parámetro entre los distintos tratamientos $\approx 0,3$. En el 'Mikado' el tratamiento de Melatonina generó un incremento importante de 2,41 unidades respecto del control. En el 'Colorado' a 1°C se observan reducciones mínimas entre los tratamientos y el control similar a las vistas a día 0 en la misma variedad. En el 'Mikado' se observa el mismo fenómeno con una mayor reducción del parámetro b* que alcanza valores mínimos en el tratamiento de GABA. A 8°C el efecto observado es contrario, pues tienen lugar incrementos en ambas variedades y tratamientos.



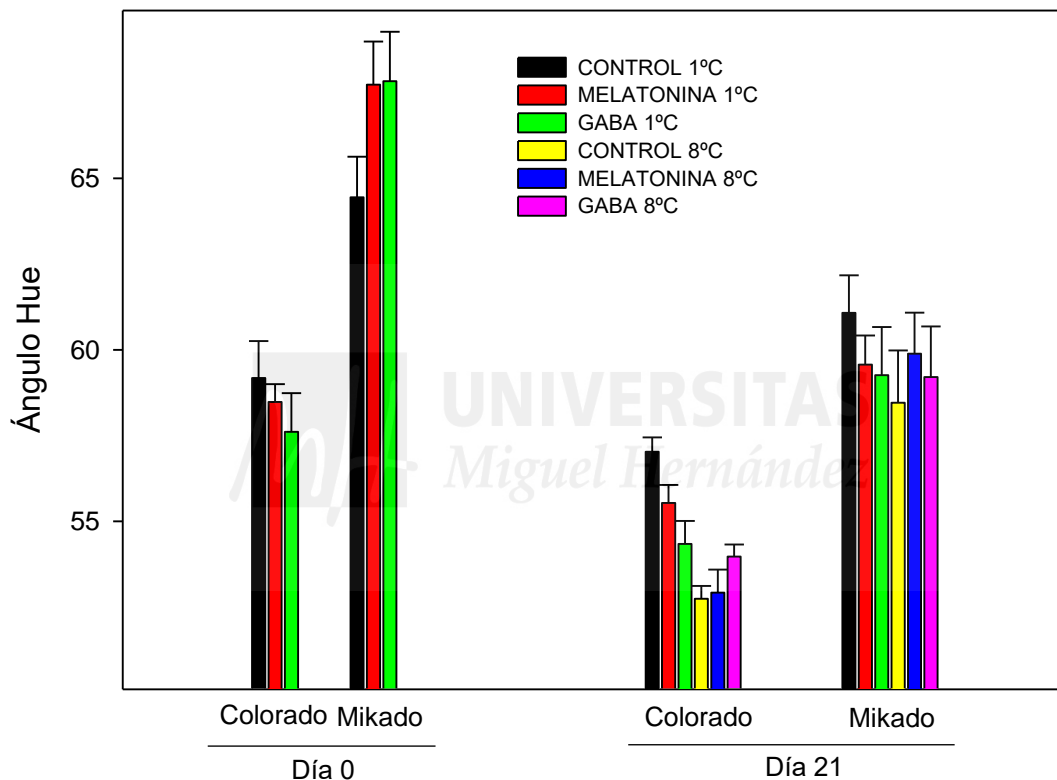
Gráfica 6. Evolución del parámetro b* en 21 días y entre las dos variedades.

4.4.4 Ángulo del tono.

A día 0 el ángulo del tono fue mayor en la variedad 'Mikado' que en la de 'Colorado' con valores de $59,18^\circ \pm 1,08$ y $64,45^\circ \pm 1,19$ respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, los valores del ángulo disminuyeron en ambas variedades, más en las muestras a temperatura comercial que en las muestras a 1°.

Las diferencias en el ‘Colorado’ entre los tratamientos y el control son muy pequeñas. En el ‘Mikado’ los tratamientos han alcanzado valores similares, aunque algo por encima respecto al control en torno a 3°.

A día 21 ambas variedades redujeron los grados del tono. A 8°C estas reducciones fueron mayores. A 1°C en el ‘Colorado’ las diferencias son similares entre los tratamientos y respecto al control equiparándolo al día 0. En el ‘Mikado’ los tratamientos han reducido en gran medida el tono respecto al día 0. A 8°C las muestras de ‘Colorado’ tratadas con Melatonina tuvieron escasas diferencias (<0,2). Las tratadas con GABA tuvieron un incremento algo mayor (1,23 °). En el ‘Mikado’ las muestras a 8°C tratadas tuvieron un tono similar a las tratadas a 1°C (≈ 59,5 °).



Gráfica 7. Evolución del ángulo del tono en 21 días y entre las dos variedades.

Estudios como el de Jannatizadeh (2019) y Gao et al., (2018), aunque no realizaron análisis de color, sí que incluyen estudios sobre la lesión por frío en melocotón y granada, donde se observó que las muestras tratadas con Melatonina tuvieron un menor pardeamiento reduciendo los daños por frío.

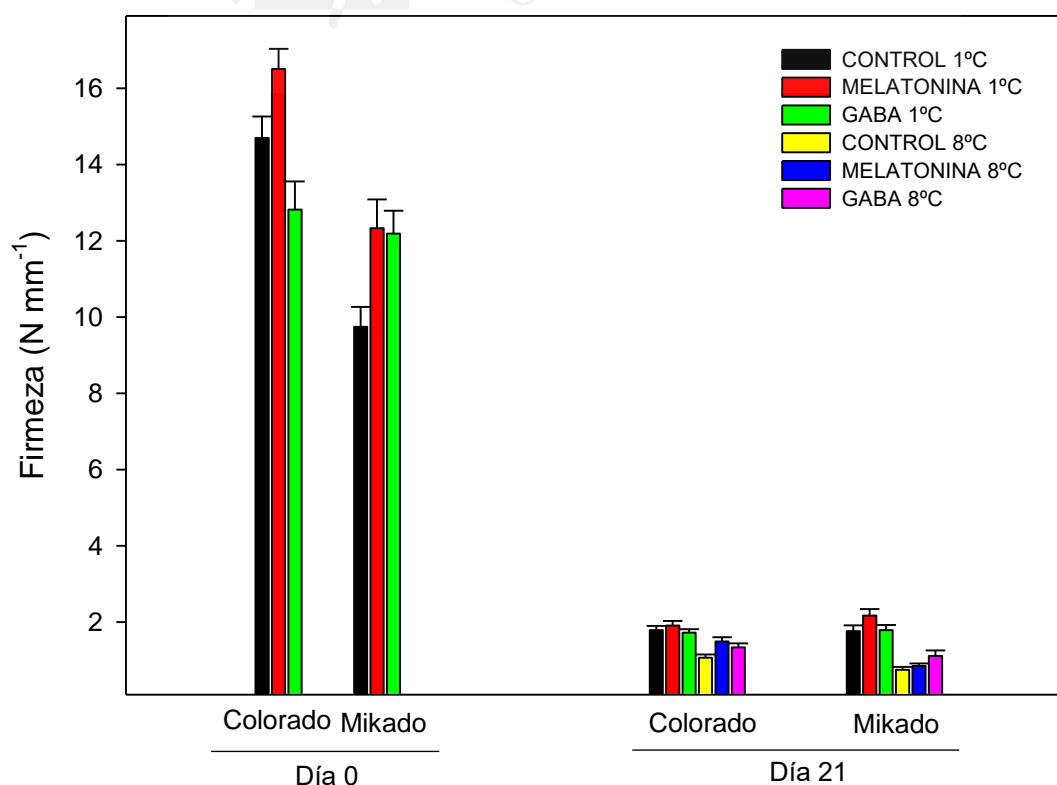
El tratamiento con GABA en frutas como la el plátano y la pera se observó una reducción en el pardeamiento durante su almacenaje, así como un retraso en la disminución de L* y del ángulo del tono (Wang et al 2014; Li et al., 2019). En la cáscara de cítricos el tratamiento con GABA aceleró el cambio de color confiriendo mayores valores a* y menores de L* y b* (Sheng et al., 2017). En el estudio realizado sobre el albaricoque los tratamientos con Melatonina y GABA no generaron importantes variaciones de color.

Solo destacó los mayores de valores del ángulo del tono en ‘Mikado’ con ambo tratamientos y el incremento de b^* y L^* en el ‘Mikado’ tratado con Melatonina.

4.5 Firmeza.

A día 0 la firmeza fue mayor en la variedad ‘Colorado’ que en la de ‘Mikado’ con valores de $14,70 \pm 0,56 \text{ N mm}^{-1}$ y $9,74 \pm 0,52 \text{ N mm}^{-1}$ respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, los valores de firmeza se redujeron en ambas variedades, sin observarse efectos importantes de los tratamientos sobre este parámetro y siendo mayores estas reducciones a 8°C . La mayor diferencia observada fue entre los controles y la menor entre las muestras tratadas con GABA.

A día 0 las muestras del ‘Colorado’ tratadas con Melatonina estaban más firmes y las de GABA menos firmes que el control. Las muestras de ‘Mikado’ tratadas al inicio del estudio presentan una mayor firmeza que el control. A día 21 la firmeza del ‘Colorado’ se redujo drásticamente alcanzando valores en el control a temperatura de comercialización de $1,07 \pm 0,08$ y de $1,79 \pm 0,11 \text{ N mm}^{-1}$ en el control a temperatura de daños por frío. Los resultados no muestran variaciones importantes entre los tratamientos y el control. En el ‘Mikado’ ocurre lo mismo que en el ‘Colorado’, sin observarse diferencias importantes entre los tratamientos y alcanzándose valores de firmeza similares a los obtenidos en la variedad ‘Colorado’. En cuanto al ‘Mikado’ el último análisis muestra una reducción importante en la firmeza del fruto, siendo de $0,75 \pm 0,07 \text{ N mm}^{-1}$ en las muestras a 8°C y de $1,76 \pm 0,15 \text{ N mm}^{-1}$ en las muestras a 1°C .



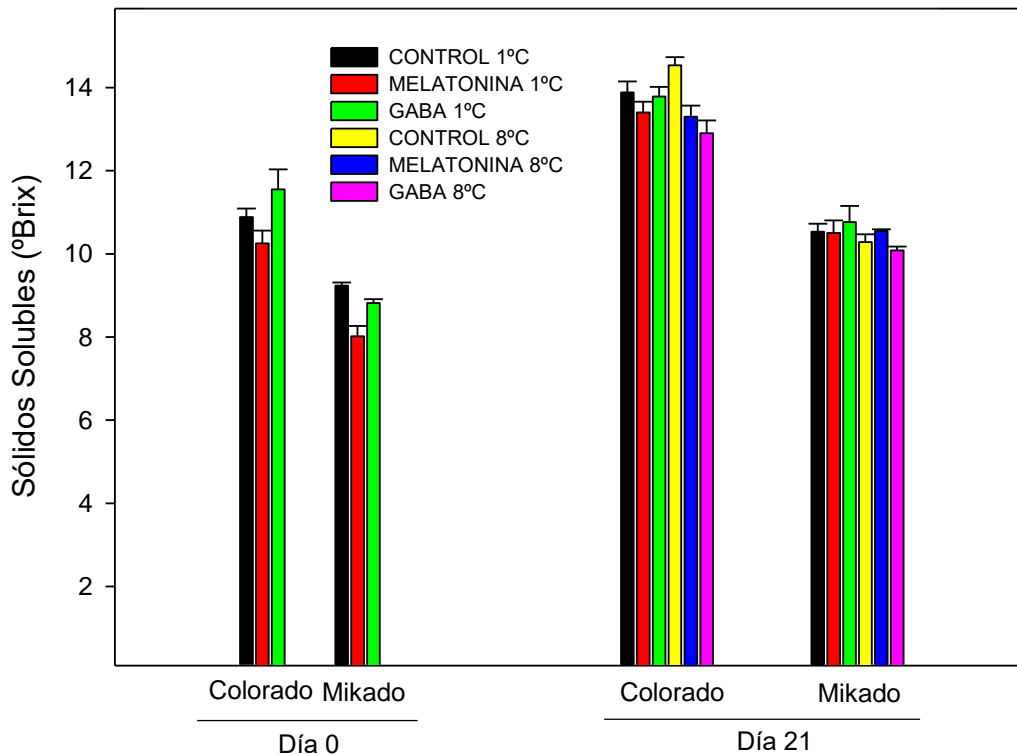
Gráfica 8. Valores de firmeza para ambas variedades al inicio y final del estudio.

La pérdida acelerada de firmeza es un indicativo de una lesión por frío. La fruta tratada con Melatonina ha demostrado inhibir la pérdida de firmeza, siendo 3 veces superior a la del control tras 7 días de almacenamiento en melocotón (Gao et al., 2018). Resultados similares se han obtenido por Zhai et al., (2018) y Liu et al., (2018) en pera y fresa, observándose una reducción importante en la firmeza de la fruta no tratada. En el caso del albaricoque las muestras con Melatonina tuvieron una firmeza inicial mayor, sin embargo, al final del ensayo esta se redujo de forma a similar al control. Muestras de cereza tratadas con GABA han reducido la pérdida peso (Aghdam et al., 2019). Estos resultados son similares a los obtenidos en el albaricoque.

4.6 Sólidos solubles totales (SST).

A día 0 el contenido de sólidos solubles fue mayor en la variedad ‘Colorado’ que en ‘Mikado’ con valores de $10,88 \pm 0,21$ °Brix y $9,23 \pm 0,08$ °Brix respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, el contenido en SST se incrementó en ambas variedades, siendo mayor este incremento en ‘Colorado’.

En el día 0 los resultados de ambas variedades no muestran diferencias significativas entre las muestras tratadas, aunque en ambas se observa una disminución al aplicar el tratamiento de Melatonina y un aumento con el tratamiento de GABA. Al final del ensayo, los resultados para los tratamientos muestran el mismo efecto, que a día 0 con diferencias no significativas entre ellas y respecto al control. A ninguna de las temperaturas ni tratamientos se observan variaciones importantes en los grados brix que superen valores de 0,27.



Gráfica 9. Sólidos solubles totales al inicio y final del estudio para ambas variedades.

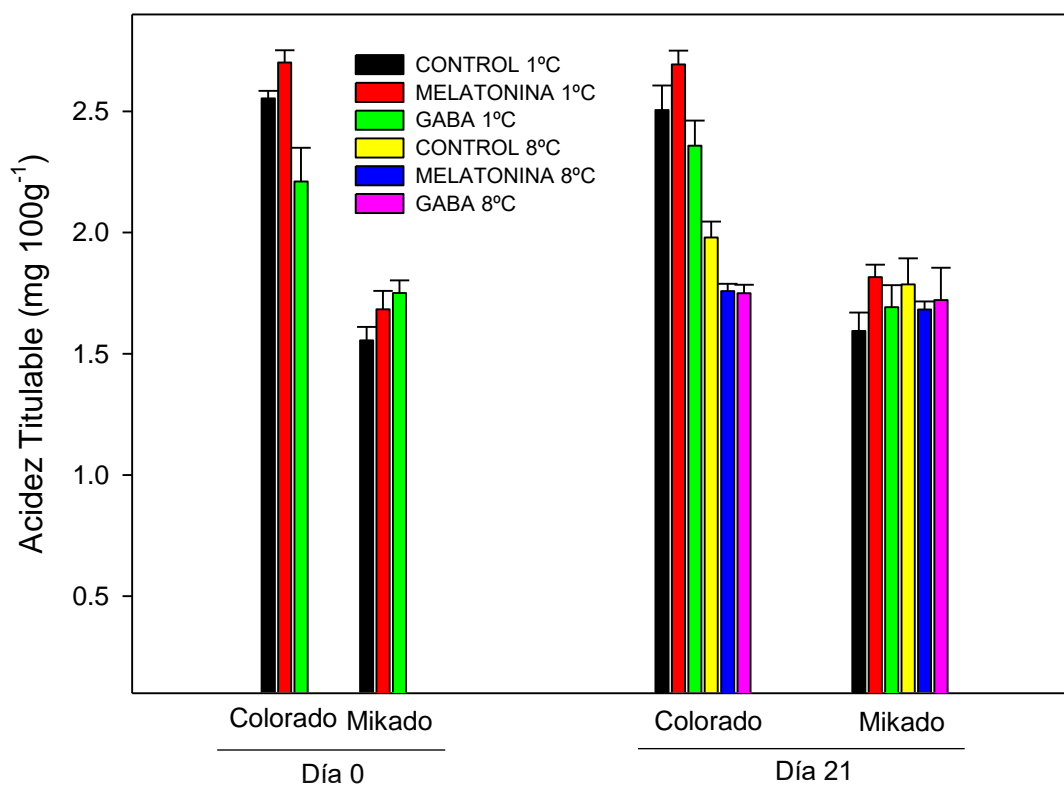
El contenido en SST en el melocotón disminuyó en las dos variedades estudiadas por Gao et al., (2016) y en las muestras tratadas el contenido en sólidos solubles se mantuvo sin diferencias significativas. En cerezas se observó un efecto similar y el tratamiento tampoco supuso diferencias significativas (Tijero et al., 2019), como ocurrió con el albaricoque, pues tras 21 días tampoco se observan diferencias. Sin embargo, en las fresas el tratamiento supuso una reducción de hasta 0,6 °Brix (Liu et al., 2018). No existen referencias que muestren resultados en cuanto a los sólidos solubles tras aplicar GABA.

4.7 Acidez titulable (AT).

La acidez titulable para el ‘Colorado’ a día 0 fue mayor que para el ‘Mikado’ obteniéndose valores de $2,55 \pm 0,03$ g Ác. Málico/L y $1,56 \pm 0,05$ g Ác. Málico/L respectivamente. Tras la conservación refrigerada durante 21 días más uno a temperatura ambiente, los valores de firmeza se redujeron en ambas variedades, sin observarse efectos importantes de los tratamientos sobre este parámetro y siendo mayores estas reducciones a 8°C. Las diferencias más importantes se encuentran entre los controles con una diferencia de 0,99 g Ác. Malico/L

La acidez titulable para el ‘Colorado’ a día 0 mostró un aumento en el tratamiento de Melatonina y una disminución en el tratamiento de GABA respecto del control. Para el ‘Mikado’ la AT de las muestras tratadas al inicio del estudio muestran un incremento respecto a las muestras control, sin presentar diferencias significativas

El último ensayo en el ‘Colorado’ a temperatura de daños por frío muestra resultados similares respecto al día 0. Sin embargo, a temperatura de comercialización se observa una reducción importante en el control y aún mayor en ambos tratamientos. El ‘Mikado’ presentó una AT similar a la inicial en las muestras a 1°C y un pequeño aumento en ambos tratamientos. A 8°C la acidez de la muestra control aumenta hasta alcanzar 1,89 g Ác. Málico/L mientras que las tratadas presentan una acidez por debajo del control y con valores similares entre sí. El último análisis no muestra diferencias importantes a 8°C (<0,2), mientras que a 1°C estas diferencias son similares a las obtenidas el día 0 entre ambas variedades.



Gráfica 10. Acidez titulable (AT) para ambas variedades a tiempo 0 y 21.

En fresas se ha observado una reducción en la AT que puede ser retardada por el tratamiento de Melatonina, sin encontrarse al final del estudio diferencias entre las muestras tratadas y no tratadas (Liu et al., 2018). En cerezas ocurrió el efecto contrario, un incremento respecto al control, aunque la acidez se mantuvo constante en el tiempo en las muestras tratadas (Tijero et al., 2019).

Este último resultado es el que se refleja en el albaricoque, pues los tratamientos tuvieron una mayor AT, y esta se mantuvo sin diferencias significativas hasta el día 21. En el estudio de Han et al., (2018) el tratamiento de GABA en manzana retrasó la pérdida de acidez. En nuestro estudio la acidez se mantuvo constante a 1°C, y a 8°C se redujo en las muestras tratadas con GABA.

4.8 Daños por frío.

Los resultados obtenidos a partir del análisis visual del exterior de los frutos sometidos a temperaturas de 1°C al cabo de 21 días son los que se recogen en la tabla 2. Se han obtenido utilizando la escala hedónica descrita en el apartado 3.8. Como se puede observar, ambos tratamientos muestran un aumento en la tolerancia al frío, siendo mayor los efectos del tratamiento de GABA y aún mayor en la variedad del 'Mikado'.

Tabla 2. Resultados de daños por frío de acuerdo a la escala descrita en el apartado 3.8.

	Control	Melatonina	GABA
‘Colorado’	2.42±0.09	1.88±0.1	1.62±0.07
‘Mikado’	2.83±0.1	1.63±0.08	1.46±0.07

Existen diversos estudios que han mostrado efectos favorables en el incremento de la tolerancia causada por las bajas temperaturas en diversos frutos con el tratamiento de Melatonina. Jannatizadeh (2019) obtuvo en la granada una reducción en daños por frío del 10% tras 30 días y en torno al 40% tras 120, mostrando que la concentración óptima fue de 0,1 mM y utilizando una evaluación similar a la de este trabajo, aunque la escala utilizada se dividió en porcentajes. En fresas y en la carne del melocotón los resultados obtenidos fueron similares, lográndose una reducción en los daños tras 12 días para las fresas y 7 días para el melocotón en torno al 20% (Liu et al., 2018; Gao et al., 2018).

El tratamiento de GABA también mostró efectos favorables en cítricos reduciendo su tasa de pudrimiento en torno a un 12% tras 80 días (Sheng et al., 2017), aliviando los síntomas de lesión por frío en plátano entre los días 5 y 15 (Wang et al., 2014) y en peras se retrasó el pardeamiento y se observó una reducción en los daños del 24% tras 12 días (Li et al., 2019)

5 Conclusión.

La aplicación de Melatonina y GABA en 3 momentos del desarrollo del albaricoque en el árbol le confiere una mayor resistencia a la aparición de daños por frío en almacenamiento refrigerado.

Las variedades ‘Mikado’ y ‘Colorado’ presentan un perfil madurativo diferente debidos a las diferencias mostradas en la tasa de respiración y producción de etileno en la recolección y tras 21 días de conservación.

6 Bibliografía.

- Aghdam, M., Kakavand, F., Rabieie, V., Zaare-Nahandi, F., Razavi, F. (2019). "Gamma-aminobutyric acid and nitric oxide treatments preserve sensory and nutritional quality of cornelian cherry fruits during postharvest cold storage by delaying softening and enhancing phenols accumulation". *Scientia Horticulturae*, 246 812-817.
- Ding, F., Liu, B., Zhang, S. (2017). "Exogenous melatonin ameliorates cold-induced damage in tomato plants" *Scientia Horticulturae*, 219, 264-271.
- Dumanoglu, H., Erdogan, V., Kesik, A., Dost, S., Delialioglu, R., Kocabas, Z., Ernim, C., Macit, T., Bakir, M. (2019). "Spring late frost resistance of selected wild apricot genotypes (*Prunus armeniaca* L.) from Cappadocia region, Turkey. " *Scientia Horticulturae*, 246, 347-353.
- Fan, X., Xi, Y., Zhao, H., Liu, B., Cao, J., Jiang, W. (2018). "Improving fresh apricot (*Prunus armeniaca* L.) quality and antioxidant capacity by storage at near freezing temperature". *Scientia Horticulturae*, 231, 1-10.
- Fратиanni, F., Ombra, M., d'Acierno, A., Cipriano, L., Nazzaro, F. (2018). "Apricots: biochemistry and functional properties". *Current Opinion in Food Science*, 19, 23-29.
- Gao, H., Zhang, Z., Chai, H., Chen, N., Yang, Y., Wang, D., Yang, T., Cao, W., (2016). "Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit". *Postharvest Biology and Technology*, 118, 103-110.
- Gao, H., Lu, Z., Yang, Y., Wang, D., Yang, T., Cao, M., Cao, W. (2018). "Melatonin treatment reduces chilling injury in peach fruit through its regulation of membrane fatty acid contents and phenolic metabolism". *Food Chemistry*, 245, 659-666.
- Ge, Y., Duan, B., Li, C., Tang, Q., Li, X., Wei, M., Chen, Y., Li, J. (2018). "γ-Aminobutyric acid delays senescence of blueberry fruit by regulation of reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway". *Scientia Horticulturae*, 240, 303-309.
- Han, S., Nan, Y., Qu, W., He, Y., Ban, Q., Lv, Y., Rao, J. (2018). "Exogenous gamma-Aminobutyric Acid Treatment That Contributes to Regulation of Malate Metabolism and Ethylene Synthesis in Apple Fruit during Storage". *Journal of Agricultural and food chemistry*. 66, 13473-13482.

- Hussein, Z., Fawole, O., Opara, U. (2018). "Preharvest factors influencing bruise damage of fresh fruits – a review". *Scientia Horticulturae*, 229, 45-58.
- Jannatizadeh, A. (2019) "Exogenous melatonin applying confers chilling tolerance in pomegranate fruit during cold storage". *Scientia Horticulturae*, 246, 544-549.
- Kafkaletou, M., Kalantzis, J., Karantzi, A. Christopoulos, M., Tsantili, E. (2019). "Phytochemical characterization in traditional and modern apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars – Nutritional value and its relation to origin". *Scientia Horticulturae*, 253, 195-202.
- Li, J., Arkorful, E., Cheng, S., Zhou, Q., Li, H., Chen, X., Sun, K., Li, X. (2018). "Alleviation of cold damage by exogenous application of melatonin in vegetatively propagated tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze)". *Scientia Horticulturae*, 238, 356-362.
- Li, J., Zhou, X., Wei, B., Cheng, S., Zhou, Q., Ji, S. (2019). "GABA application improves the mitochondrial antioxidant system and reduces peel browning in 'Nanguo' pears after removal from cold storage". *Food Chemistry*, 297.
- Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., Zheng, L. (2018) "Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit". *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47-55.
- Liu, B., Jiao, W., Wang, B., Shen, J., Zhao, H., Jiang, W. (2019) "Near freezing point storage compared with conventional low temperature storage on apricot fruit flavor quality (volatile, sugar, organic acid) promotion during storage and related shelf life". *Scientia Horticulturae*, 249, 100-109.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación (FAO). Acceso junio de 2019.
- Palma, F., Carvajal, F., Jiménez-Muñoz, R., Pulido, A., Jamilena, M., Garrido, D. (2019). "Exogenous γ -aminobutyric acid treatment improves the cold tolerance of zucchini fruit during postharvest storage". *Plant Physiology and Biochemistry*, 136, 188-195.
- Rubio, M., Ruiz, D., Egea, J., Martínez-Gómez, P., Dicenta, F. (2008). "Evaluation of apricot resistance to Plum pox virus (Sharka) in controlled greenhouse and natural field conditions, *Scientia Horticulturae*, 116, 176-179.
- Southwick, S. (2003). *APRICOTS, Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition), Academic Press, 295-303.

- Sheng, L., Shen, D., Luo, Y., Sun, X., Wang, J., Luo, T., Zeng, Y., Xu, J., Deng, X., Cheng, Y. (2017). "Exogenous γ -aminobutyric acid treatment affects citrate and amino acid accumulation to improve fruit quality and storage performance of postharvest citrus fruit". *Food Chemistry*, 216, 138-145.
- Tijero, V., Muñoz, P., Munné-Bosch, S. (2019). "Melatonin as an inhibitor of sweet cherries ripening in orchard trees". *Plant Physiology and Biochemistry*, 140, 88-95.
- Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S., Du, R., (2014) "Effect of exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel". *Scientia Horticulturae*, 168, 132-137.
- Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., Zheng, Y. (2011). " γ -Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit". *Food Chemistry*, 129, 1619-1622.

