



Inducción de cambios de tamaño, color y en cutícula en bayas de uva de mesa por medio de biorreguladores

Bioregulators induction changes in size, color and cuticle of table grapes berries

González-García L.C.¹, Sánchez-Estrada A.^{1*}, Mercado-Ruiz J.N.¹, Báez-Sañudo R.², González-León A.¹

¹ Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, Hermosillo, Sonora, México. 83304. Tel.: +52-(662) 2892400.

² Sistemas de gestión de la inocuidad y calidad. Manejo Postcosecha de Frutas y Hortalizas.

RESUMEN

La irregularidad del color y el bajo calibre de las bayas en la uva de mesa en el desierto Sonorense representan un reto para su exportación. Se evaluó el efecto de la aplicación de biorreguladores en el envero sobre el tamaño, peso, color y cambios cuticulares en la baya de uva de mesa cv. "Flame Seedless". Se diseñaron ocho tratamientos: TEST (Testigo), ETH1 (Ethrel 100 mg L⁻¹), ETH2 (Ethrel 250 mg L⁻¹), AS (ácido salicílico 100 mg L⁻¹), MEL (melatonina 25 mg L⁻¹) y la combinación de ETH2+AS, ETH2+MEL y AS+MEL. El mayor peso se obtuvo en bayas tratadas con MEL, ETH2+MEL y AS+MEL (4.75, 5.46 y 5.14 g respectivamente), mientras el testigo alcanzó 3.75 g; se observó un comportamiento similar en tamaño, alcanzando un calibre extra en los tratamientos MEL y combinaciones. El índice de color (CIRG) más alto se obtuvo en las bayas tratadas con ETH con valores superiores a 2.0, mientras que los otros tratamientos fueron menores a este valor, ningún tratamiento alcanzó el CIRG óptimo (4-5). No se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) en el contenido de ceras intracuticulares, permeabilidad y grosor de la cutícula, en cambio en el contenido de ceras epicuticulares el testigo (0.64 mg cm⁻²) fue significativamente superior a los tratamientos, mientras que en el peso de la cutícula fue significativamente inferior con respecto a los tratamientos con reguladores. Los tratamientos aplicados no estimularon suficientemente la biosíntesis de antocianinas para producir un incremento significativo de color en las uvas tratadas, aunque se observó una mejora en el calibre de las bayas sin afectar las propiedades de la cutícula.

Palabras clave: Flame Seedless, CIRG, antocianinas, ceras cuticulares, cutícula.

ABSTRACT

The irregularity of the color and the small size of berries in the Sonoran Desert table grapes represent a challenge for their export. The effects of the application of bioregulators at veraison were evaluated on the size, weight, color and cuticle changes in the berry of table grape cv. "Flame Seedless". Eight treatments were evaluated: TEST (Control), ETH1 (Ethrel 100 mg L⁻¹), ETH2 (Ethrel 250 mg L⁻¹), AS (salicylic acid 100 mg L⁻¹), MEL (melatonin 25 mg L⁻¹) and the combination of ETH2+AS, ETH2+MEL and AS+MEL. A higher weight was obtained in

berries treated with MEL, ETH2+MEL and AS+MEL (4.75, 5.46 and 5.14 g respectively), while the control weighed only 3.75 g; similar behavior was presented in the size of the berries in which they reached a superior caliber with the MEL and combinations treatments. The highest color index (CIRG) was obtained in ETH treated berries with values greater than 2.0, while the other treatments were lower, but no treatment reached the optimal CIRG (4-5). No differences ($p \leq 0.05$) were observed in the content of intracuticular waxes, permeability and thickness of the cuticle; on the other hand, in the content of epicuticular waxes, the control (0.64 mg cm⁻²) was significantly higher than treatments and significantly lower in cuticle weight. The applied treatments did not sufficiently stimulate anthocyanin biosynthesis to produce a significant increase in color in treated grapes, although an improvement in berry size was observed without affecting cuticle properties.

Key words: Flame Seedless, CIRG, anthocyanins, cuticular waxes, cuticle.

INTRODUCCIÓN

El color y el calibre del fruto son características importantes de la baya en cuanto a calidad se refiere para la comercialización y exportación de la uva de mesa (*Vitis vinifera* L.). En el desierto de Sonora, las variedades de uvas rojas como "Flame Seedless" presentan alteraciones en el color y un porcentaje alto de bayas que no cumplen con los calibres requeridos. Estas alteraciones se deben principalmente al efecto de la luminosidad y la temperatura sobre las bayas (Boss y Davies, 2009; Movahed *et al.*, 2016).

Para mejorar el color y en algunos casos el tamaño de las bayas, se han implementado prácticas como el anillado (Crupi *et al.*, 2016), aclareo (Kaur *et al.*, 2013) y sombreado de racimos (Leguizamón *et al.*, 2008) pero con resultados inciertos. Una alternativa ha sido el uso de reguladores del crecimiento como el ácido giberélico destinados a aumentar el tamaño de la baya resultando en la inhibición del color (Ferrara *et al.*, 2013); en cambio liberadores de etileno como el etefon (Hueso, 2012) o ácido abscísico (Deluc *et al.*, 2009; Alenazi *et al.*, 2019) mejoraron el color de la cáscara, debido a que estos compuestos regulan parcialmente la síntesis y acumulación de antocianinas, sin afectar el contenido de

*Autor para correspondencia: Alberto Sánchez Estrada
 Correo electrónico: aestrada@ciad.mx

Recibido: 19 de octubre de 2022

Aceptado: 22 de febrero de 2023

azúcar y acidez. A pesar de su eficacia, se han observado afectaciones en firmeza de la baya reduciendo su calidad y vida de anaquel (Peppi *et al.*, 2006); además con el inconveniente del costo y la residualidad que puede superar los niveles máximos permitidos (Báez-Sañudo *et al.*, 2021).

Otros biorreguladores, como el ácido salicílico actúan incrementando la concentración de ácidos fenólicos (Habibi, 2017), mejora el color en cereza (Giménez *et al.*, 2014; Miranda *et al.*, 2020) y uva cv. Sahebi (Oraei *et al.*, 2019), debido a la activación de la enzima fenilalanina amoniliasa (PAL), involucrada en la biosíntesis de antocianinas. Por otro lado, una indolamina como melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina) induce la biosíntesis de flavonoides y antocianinas en diversas especies vegetales (Sun *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016; Aghdam y Fard, 2017; Arnao y Hernández, 2019).

Otra asignatura pendiente en la uva es el efecto de los reguladores aplicados exógenamente para estimular el color sobre la cutícula. Dado que estos se encargan de controlar diversos procesos fisiológicos como el crecimiento de las bayas (Janda *et al.*, 2014), es precisamente en el envero el momento crítico para estimular el desarrollo de color y engorde del fruto ya que las clorofilas se degradan, seguido de la biosíntesis de antocianinas (Seymour *et al.*, 2013) y la expansión celular junto a los cambios cuticulares de las bayas (Carbonell-Bejerano y Martínez-Zapater, 2013).

La cutícula es una barrera permeable que posee ceras encargadas de reducir la permeabilidad de la cutícula del fruto (Tafolla *et al.*, 2013), estas ceras regulan el intercambio de gases e intervienen en la integridad del fruto y vida post-cosecha (Trivedi *et al.*, 2019). Las ceras epicuticulares en las bayas aumentan durante las primeras fases de crecimiento y decrecen al madurar, la cutícula se adelgaza a medida que el tamaño de la baya aumenta, provocando micro y macropartiduras que hacen susceptible al fruto a factores bióticos y abióticos (Pensec *et al.*, 2014).

Los estudios con biorreguladores se han enfocado principalmente en mejorar el color, pero escasamente a los cambios en la cutícula de las bayas, por lo que se propone evaluar el efecto de la aplicación precosecha de tratamientos con Ethrel, ácido salicílico y melatonina, sobre los cambios en tamaño, color y de cutícula en las bayas de uva de mesa "Flame Seedless".

MATERIALES Y MÉTODOS

Material experimental y tratamientos

Para este estudio se utilizaron plantas de uva de mesa (*V. vinifera* L.) "Flame Seedless" de 8 años de edad, provenientes de un viñedo ubicado en Sonora, México (29°21'51"LN y 110°57'08"LO). Los tratamientos fueron aplicados por aspersión directa a los racimos de 5 plantas/tratamiento a los 60 días después de plena floración (ddpf) durante la etapa de envero. Los tratamientos fueron: Testigo (TEST), ETH1 (Ethrel^{MR} 240, Bayer, Alemania), ETH2, ácido salicílico (Fagalah, México), melatonina (Sigma, USA), mezcla de ETH2+AS, ETH2+Mel, y AS+Mel (Tabla 1) a todas las mezclas se le añadió 2 mL L⁻¹ de surfactante (Tween 80, Fagalah, México).

Tabla 1. Tratamientos.

Table 1. Treatments.

Tratamiento	Composición	No. Aplicaciones
TEST	Testigo	0
ETH1	Ethrel a 100 µL L ⁻¹	3
ETH2	Ethrel a 250 µL L ⁻¹	1
AS	Ácido Salicílico a 100 µL L ⁻¹	1
MEL	Melatonina a 25 µL L ⁻¹	1
ETH2+AS	1:1 mezcla de tratamiento ETH2+AS	1
ETH2+MEL	1:1 mezcla de tratamiento ETH2+MEL	1
AS+MEL	1:1 mezcla de tratamiento AS+MEL	1

Muestreo y análisis estadístico

A los 74 ddpf se cosecharon 15 racimos/tratamiento en madurez de consumo. El experimento se analizó con un diseño completamente al azar considerando ocho tratamientos, el número de repeticiones utilizados dependió de cada variable analizada dada la naturaleza de la técnica y la representatividad poblacional (las bayas se tomaron de tres estratos del racimo: basal, medio y apical). Para variables de diámetro y peso fueron 5 repeticiones con 20 bayas; para la variable de color se utilizaron 16 bayas con dos mediciones por baya. El número de repeticiones de las variables: antocianinas, contenido de ceras epi e intracuticulares, así como peso, permeabilidad y grosor de la cutícula se especifican en la metodología empleada descritas más adelante. La prueba de comparación de medias se realizó por el método Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS Versión 9.3 (2012).

Determinación de diámetro y peso de bayas

En 100 bayas tomadas al azar de los 15 racimos cosechados por tratamiento se pesaron individualmente en una balanza digital en g (DENVER Instruments, XP-3000, Colorado, EUA), se midió el diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE) en mm con un vernier digital TWIN-cal (IP67, Renens, Suiza), y se obtuvo la relación DP/DE para determinar la forma de las uvas.

Determinación de color

Se midió el color con un colorímetro Minolta (CR-300, Nueva Jersey, EUA) en 20 bayas (dos puntos/baya), con los valores de L*, a* y b* se calculó el tono de color (croma = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) y el ángulo de matiz ($^{\circ}\text{hue} = \text{arctangente}(b^*/a^*)$). El índice específico para bayas de color rojo (*color index for red grapes*, CIRG por sus siglas en inglés) se calculó con la ecuación CIRG = $180 - \text{hue} / (L^* + \text{croma})$ (Carreño *et al.*, 1995).

Determinación de antocianinas

El contenido de antocianinas se determinó en 5 repeticiones y cada repetición lo conformaron la cantidad de círculos de cáscara para obtener 1 g de muestra de las bayas a las que se les midió el color, de acuerdo con el método descrito por Peppi *et al.* (2004) y Xu *et al.* (2018), con ligeras modificaciones. Los círculos de 14 mm de diámetro de cáscara se trituraron en un mortero frío con 10 mL de metanol con HCl al 1 % (v/v) enfriado (-20 °C). Posteriormente, los extractos se colocaron en un baño ultrasónico (Branson 3510, Danbury, EUA) por 3

min en oscuridad a temperatura ambiente y una frecuencia de 45 KHz. La solución se filtró y se analizó en un espectrofotómetro (Hach DR5000, Alemania) a 530 y 657 nm. La unidad relativa se calculó mediante la fórmula $\Delta D = A_{530} - 0.25 \times A_{657}$, donde A es la absorbancia registrada. Para el cálculo se utilizó el peso molecular (PM 449.2) y la absorbancia molar (ϵ 26900) de la antocianina mayoritaria (Cianidina 3 glucósido). El contenido de antocianinas se expresó como antocianinas totales por unidad de área del fruto (mg cm^{-2}).

Extracción y cuantificación de ceras epicuticulares

En otro grupo de 100 bayas cortadas de los 15 racimos, se tomaron 10 bayas por repetición al azar y 10 repeticiones, se sumergieron en 100 mL de cloroformo (FagaLab, Sinaloa, México) se colocaron 10 bayas seleccionadas al azar a 45 °C durante 1 min en baño de agua, filtrando el líquido en papel Whatman No. 1 y depositado en vasos de precipitado tarados, la solución se evaporó hasta un volumen final de 5 mL bajo una campana de extracción (Labconco, EUA). Posteriormente, los vasos con la solución se colocaron en una estufa de convección (VWR 1320, Oregon, EUA) a 55 °C durante 12 h hasta sequedad y enfriando a temperatura ambiente dentro de un desecador. El residuo seco se pesó en una balanza analítica (Mettler AE240, Ohio, EUA). Este peso representa las ceras epicuticulares totales. El área de la cutícula se calculó multiplicando el número de bayas utilizadas por el área promedio de cutícula de cada baya (previamente determinada) y ajustadas a la unidad (Riederer y Schneider, 1990) y se expresó en mg de cera por unidad de área (mg cm^{-2}).

Extracción, peso, permeabilidad y grosor de la cutícula

La extracción se realizó siguiendo la metodología propuesta por Freeman *et al.* (1979) y Schönerr y Riederer (1986) con pequeñas modificaciones. En 20 círculos de 14 mm Diámetro de epicarpio de 10 bayas agrupadas en 4 grupos como repetición y cada grupo constó de 5 círculos, los cuales se incubaron 24 h en una disolución de 10 mL de ZnCl_2 con HCl concentrado (J.T. Baker, Madrid, España) (1 g: 1.7 mL p/v), agitando ligeramente.

Posteriormente, las cutículas aisladas se lavaron tres veces con agua ultrapura y se transfirieron a una solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 2 % (Sigma, Missouri, EUA) durante 8 h, agitando ocasionalmente para eliminar materia orgánica, ya lavadas se colocaron en solución de H_3BO_3 al 2 % hasta su uso. Un nuevo lavado se realizó previo a pesarlas en charolas de aluminio taradas. Las cutículas se secaron en estufa de convección a 55 °C durante 30 min. El peso seco representa la cantidad de cutícula del fruto y se ajustó a mg cm^{-2} .

Para evaluar la permeabilidad y grosor de las cutículas se utilizó la técnica propuesta por Geyer y Schönherr (1990) y modificada por Báez-Sañudo *et al.* (1993). En 16 cutículas previamente extraídas se fijaron con silicona cubriendo orificios de 0.38 cm^2 sobre 4 láminas (4 repeticiones) de teflón horadadas con 4 espacios en cada lámina, las láminas se montaron en cajas Petri plásticas de 5 cm de diámetro con 5 mL de agua ultrapura. Se registró el peso del sistema en la microbalanza.

Luego, los triplicados se incubaron a temperatura ambiente (25 °C), registrando el peso cada dos horas durante 8 h (0.1 % del peso inicial). Los resultados se expresaron como mg de vapor de agua perdido por cm^2 de cutícula expuesta ($\text{mg de H}_2\text{O cm}^{-2}$).

El grosor de la cutícula se determinó con la técnica propuesta por Báez-Sañudo *et al.* (1993). Seis círculos de cutícula de 3 bayas por tratamiento lavadas con agua ultrapura fueron colocados en charolas de aluminio, secados en estufa de convección a 55 °C durante 10 min. El grosor (μm) se midió con un micrómetro digital (Mitutoyo PK-0505, Tokyo, Japón) calibrado.

Extracción y cuantificación de ceras intracuticulares

Para la extracción de las ceras intracuticulares se emplearon 16 círculos de 8 bayas colocadas en vasos con cloroformo ($\geq 200 \mu\text{L}$ por cm^2 de cutícula), se incubaron en un baño de agua a 80 °C durante 2 min. El cloroformo se filtró en papel Whatman No. 1 y transferidos a tubos de vidrio prepesados. Posteriormente, los tubos se colocaron en una estufa de convección a 55 °C hasta sequedad. Al residuo se le determinó el peso seco en una balanza analítica. La cantidad total de ceras intracuticulares se obtuvo mediante el peso del residuo seco y se expresó como mg por unidad de área de cutícula expuesta (mg cm^{-2}) (Riederer y Schneider, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso y diámetro de bayas

El peso promedio de una uva de buena calidad es de 1.5 a 3 g (Champa *et al.*, 2014), rango superado por cada uno de los tratamientos evaluados. Los tratamientos MEL, ETH2+MEL y AS+MEL presentaron diferencias significativas con respecto al TEST, mientras que los tratamientos a base de ETH y AS no presentaron diferencias significativas con respecto al TEST, sin embargo, en todos los casos las bayas tratadas con bioreguladores tuvieron mayor peso que las del TEST (Tabla 2). Lo anterior coincide con el aumento de peso de 6.6 % más respecto al testigo en el cultivar Merlot al aplicar 100 mg L^{-1} de melatonina en dos momentos del envero (Meng *et al.*, 2015), así mismo en la variedad de uva "Zaosu" (Liu *et al.*, 2019).

DP y DE muestra el mismo patrón que se observó en el peso de las bayas, debido a que los racimos tratados con MEL (20.71 mm DP y 19.20 mm DE) o en combinación ETH2+MEL (21.72 mm DP y 19.75 mm DE) y AS+MEL (21.07 mm DP y 19.67 mm DE) presentaron hasta un 10 % más que el testigo (19.14 mm DP y 17.54 DE mm, respectivamente). ETH y AS, o combinados, solo fueron mayor que testigo en un 5 % (Tabla 2).

Según la NMX-FF-026-SCFI-2006, las bayas de uva de mesa deben de presentar 19.1 mm de DE para clasificarla como categoría extra. Las bayas tratadas con MEL, ETH2+MEL, AS+MEL y ETH+AS superaron el DE mínimo requerido para la categoría extra mientras que los tratamientos TEST, ETH1, ETH2 y AS presentaron valores por debajo de este. El valor DP/DE fue cercano a 1 en todos los tratamientos, valor característico a la variedad estudiada y forma apirénica. Dado que

Tabla 2. Efecto de la aplicación en envero de bioreguladores sobre el peso fresco, diámetro polar, ecuatorial y relación DP/DE en "Flame Seedless".

Table 2. Effect of veraison application of bioregulators on fresh weight, polar and equatorial diameter and DP/DE ratio "Flame Seedless" berries.

Tratamientos	Peso fresco (g)	DP ¹ (mm)	DE ² (mm)	Relación DP/DE ^{**}
TEST	3.75a*	19.14a	17.54a	1.09
ETH1	4.55ab	20.20ab	18.76bc	1.07
ETH2	4.33ab	20.27ab	18.29ab	1.10
AS	4.35ab	20.14ab	18.60ab	1.08
MEL	4.75bc	20.71bc	19.20bc	1.07
ETH2+AS	4.63abc	20.61bc	19.03bc	1.08
ETH2+MEL	5.46c	21.72c	19.75c	1.09
AS+MEL	5.14bc	21.07bc	19.67c	1.07

*Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no presentan diferencias ($p \leq 0.05$).

¹DP es diámetro polar, ²DE es diámetro ecuatorial, relación ^{**}DP/DE ≥ 1 son de forma apirénica.

la melatonina se considera análoga del ácido indol acético (AIA) por compartir el triptófano como componente inicial, pudo haber influido en el aumento del tamaño y peso de los frutos a través de la división y elongación celular (Fan *et al.*, 2018).

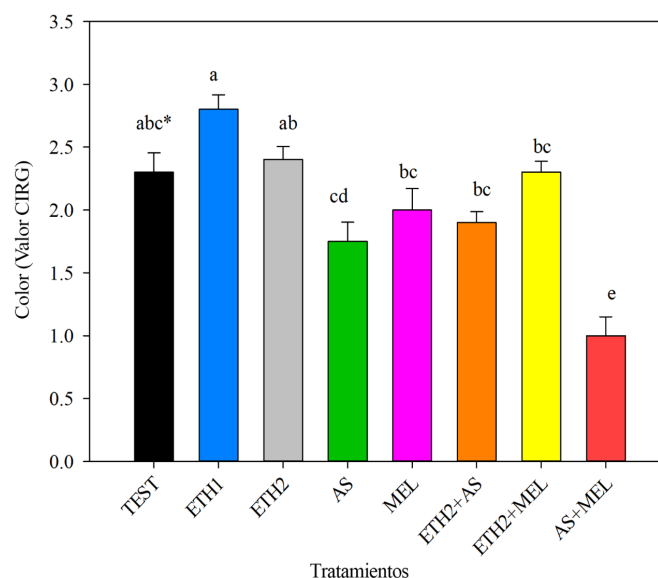
Determinación de color

De acuerdo con la NMX-FF-026-SCFI-2006, el valor mínimo requerido de color para uvas rojas de categoría extra es de 4-5 (color rojo) en el 85 % de las bayas. En el presente estudio, las bayas no alcanzaron la coloración roja para la categoría extra. La aplicación de ETH1 alcanzó un CIRG de 2.8 (rosa), similar a las bayas tratadas con ETH2 con 2.4 (rosa) estadísticamente similares al TEST (2.2, rosa). Las bayas tratadas con ETH2+AS, AS y AS+MEL con valor CIRG de 1.2 correspondiente al color verde-amarillo (Figura 1). Los valores de CIRG de los tratamientos con ETH1 y ETH2 coinciden con el 2.83 reportado por Alenazi *et al.* (2019), al aplicar en el envero 125 mg L⁻¹ y a la dosis de 250 mg L⁻¹ obtuvieron 2.90 en el cultivar Red Globe; mientras que Ochoa-Villarreal *et al.* (2011), con 0.5 mg mL⁻¹ de Ethrel en el envero del cultivar Flame Seedless obtuvieron 2.95 del CIRG 15 días después de aplicado el tratamiento, por el contrario, Gámez-Elizalde *et al.* (2020) registraron valores de 4.2 en bayas tratadas durante el envero con Ethrel a 250 mg L⁻¹ y 3.8 en AS a 100 mg L⁻¹ en el cultivar Flame Seedless y evaluados 18 días después.

El valor bajo de CIRG en las bayas pudo deberse a un retraso, por un lado, en la degradación de clorofilas por efecto del tratamiento de MEL y AS (Wu *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2022) y, por otra parte, en la disminución de la acumulación de antocianinas por la influencia de la temperatura máxima presente en el momento del experimento (≥ 37 °C) (Boss y Davies, 2009; SMN, 2021).

Contenido de antocianinas

El mayor contenido de antocianinas totales se presentó en las bayas tratadas con ETH1 y ETH2 al obtenerse un contenido total de 0.021 y 0.019 mg cm⁻² respectivamente (Figura 2).



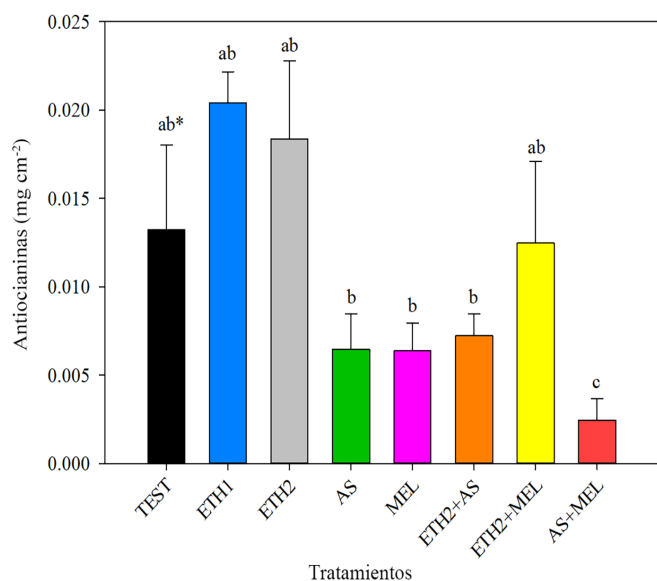
*Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no presentan diferencias ($p \leq 0.05$), líneas de error estándar y $n = 16$.

Figura 1. Efecto de la aplicación en envero de bioreguladores sobre el color (valor CIRG) de las bayas "Flame Seedless".

Figure 1. Effect of veraison application of bioregulators on the color (CIRG value) of "Flame Seedless" berries.

Los tratados con ETH fueron estadísticamente diferentes con todos los tratamientos a excepción del TEST (0.013 mg cm⁻²) y ETH2+MEL (0.0125 mg cm⁻²); por el contrario, las bayas tratadas con AS+MEL presentaron la más baja concentración con solo 0.002 mg cm⁻². Resultados similares reportaron Peppi *et al.* (2006) con valores de 0.017 mg cm⁻², 0.015 mg cm⁻² y 0.013 mg cm⁻² de antocianinas cuando aplicaron antes, durante y después del envero respectivamente 250 mg L⁻¹ de Ethrel en uva de mesa "Flame Seedless" en las diferentes etapas.

Se observó una relación directa entre el contenido de antocianinas totales con los valores CIRG dado que los tratamientos con mayor contenido tuvieron el mayor valor de CIRG. Esto mismo sucedió para los tratamientos con valores inferiores de CIRG y menor contenido de antocianinas. Como se mencionó, los frutos tratados con MEL y AS, o en combi-



*Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no presentan diferencias ($p \leq 0.05$), líneas de error estándar y $n = 4$.

Figura 2. Efecto de la aplicación en envero de bioreguladores sobre el contenido de antocianinas en bayas de uva "Flame Seedless".

Figure 2. Effect of veraison application of bioregulators on anthocyanin content in "Flame Seedless" grape berries.

nación, pudieron recibir un estímulo distinto en el desarrollo retardando la madurez, una biosíntesis de antocianinas y degradación de las clorofilas más lenta, así como incrementando el tamaño y peso de las bayas (Wu *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2022); comportamiento típico de frutos no climatéricos que requieren momentos específicos de aplicación como se demostró en cereza dulce (Miranda *et al.*, 2020).

Contenido de ceras epicuticulares, ceras intracuticulares, cutícula, permeabilidad y grosor

El tratamiento TEST presentó el mayor contenido de ceras epicuticulares (0.64 mg cm^{-2}), sin embargo, solo se observaron diferencias estadísticas entre este y los tratamientos ETH1, ETH2 y AS (0.40 mg cm^{-2}) (Tabla 3).

Por el contrario, el contenido de ceras intracuticulares presentó resultados inversos a las epicuticulares dado que en TEST se obtuvieron menor contenido de estas (0.32 mg cm^{-2}), sin que existieran diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3), esto pudiera ser explicado desde el punto que existen diferencial en la deposición y tipo de compuestos en ambas clases de ceras y su deposición pudiera ser asincrónica (Buschhaus y Jetter, 2011), además también pudo presentarse ligeras lixivaciones de las ceras epicuticulares por efecto de la aplicación de las mezclas con surfactante. Los resultados coinciden con los reportados por Yang *et al.* (2021), que analizaron el contenido de ceras epicuticulares en la etapa de maduración de las bayas en las variedades de Kyoho, Red Globe y Moscatel de Hamburgo reportando un contenido de 342.9 , 154 y 119.6 mg cm^{-2} , respectivamente. De acuerdo con los resultados se deduce que los valores del contenido de ceras tanto epi como intracuticulares se deben a un efecto de la ontogenia del fruto (Pensec *et al.*, 2014) y no por efecto sistémico de los tratamientos.

El peso promedio de las cutículas de las bayas tratadas con ETH2, AS y MEL fue de 0.33 , 0.31 , 0.31 mg cm^{-2} estadísticamente similares ($p \leq 0.05$) con ETH2+AS, ETH2+MEL y AS+MEL, pero diferentes significativamente al TEST (0.23 mg cm^{-2}). Los valores de permeabilidad no tuvieron diferencias significativas entre el TEST ($3.62 \text{ mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y el resto de los tratamientos aun cuando el AS + MEL alcanzó el mayor nivel ($4.64 \text{ mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$); debido a la no diferencia en el contenido de ceras intracuticulares (Tabla 2).

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el grosor de la cutícula. Se ha reportado que el grosor de la cutícula está en función del estado de desarrollo y tamaño final de baya. El grosor de la cutícula se incrementa con el crecimiento y disminuye durante la maduración (Jetter *et al.*, 2006), lo cual pudo coincidir con la aplicación de la melatonina que al retrasar la maduración e incrementar el tamaño final de las bayas, se observó un mayor grosor (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la aplicación en envero de bioreguladores sobre características de la cutícula y concentración de las ceras epi e intracuticulares de las bayas "Flame Seedless".

Table 3. Effect of veraison application of bioregulators on cuticle on characteristics and concentration of epi- and intracuticular waxes of "Flame Seedless" berries.

Tratamientos	Ceras epicuticulares (mg cm^{-2})	Cutícula (mg cm^{-2})	Ceras intracuticulares (mg cm^{-2})	Permeabilidad ($\text{mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Grosor (μm)
TEST	0.64b*	0.23a	0.32a	3.62a	0.073a
ETH1	0.40a	0.28ab	0.46a	3.92a	0.085a
ETH2	0.40a	0.32b	0.47a	3.68a	0.082a
AS	0.40a	0.31b	0.60a	3.84a	0.083a
MEL	0.53ab	0.31b	0.50a	4.09a	0.088a
ETH2+AS	0.51ab	0.27ab	0.51a	4.31a	0.075a
ETH2+MEL	0.44ab	0.27ab	0.48a	3.95a	0.080a
AS+MEL	0.52ab	0.26ab	0.35a	4.64a	0.078a

*Medias con letras minúsculas iguales en la misma columna no presentan diferencias ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

En el presente estudio, se observó que la aplicación comercial de Ethrel estimula la biosíntesis de antocianinas y por consecuencia el incremento del valor CIRG sin llegar al valor óptimo en la coloración roja de la uva de mesa "Flame Seedless" requerido para el mercado de exportación, bajo las condiciones del desierto de Sonora. Mientras que el efecto de la aplicación pre cosecha de AS, MEL y en combinación estimularon el crecimiento del fruto reflejado en un mayor peso y tamaño, generando bayas con mayor calibre y peso, pero tardío en la acumulación de antocianinas sugiriendo una menor madurez. En general, los tratamientos no afectaron las concentraciones de ceras intracuticulares, y epicuticulares ni las características de cantidad, grosor y permeabilidad de la cutícula.

REFERENCIAS

- Aghdam, M.S. y Fard, J.R. 2017. Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. *Food Chemistry*. 221: 1650-1657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.123>
- Alenazi, M.M., Shafiq, M., Alobeed R.S., Aldson A.A., Abbasi N.A., Ali I., Mubushar M. y Javed I. 2019. Application of abscisic acid at veraison improves red pigmentation and accumulation of dietary antioxidants in red table grapes cv. Red Globe at harvest. *Scientia Horticulturae*. 257: 108672. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108672>
- Arnao, M.B. y Hernández-Ruiz, J. 2019. Melatonin as a chemical substance or as phyto-melatonin rich-extracts for use as plant protector and/or biostimulant in accordance with EC legislation. *Agronomy*. 9: 570. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100570>
- Báez-Sañudo, R., Tadeo, F., Primo-Millo, E. y Zacarias, L. 1993. Physiological and ultrastructural changes during the ripening and senescence of clementine mandarin. *Acta Horticulturae*. 343: 18-24. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.343.4>
- Báez-Sañudo, R., Mercado-Ruiz, J.N., González-García, L. E., Sánchez-Estrada, A., y González-León, A. 2021. Cambios en las antocianinas y el etileno residual de uva de Mesa tratada con promotores del color. *Revista Iberoamericana de Postcosecha*. 2: 166-177. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81369610004>
- Boss, P.K. y Davies, C. 2009. Molecular biology of anthocyanin accumulation in grape berries. En: *Grapevine molecular physiology & biotechnology*, 2da ed. Roubelakis-Angelakis K.A (ed.), pp 265-266 pp. Springer Science Business Media B.V., Dodercht.
- Buschhaus, C., y Jetter, R. 2011. Composition differences between epicuticular and intracuticular wax substructures: how do plants seal their epidermal surfaces?. *Journal of Experimental Botany*. 62: 841-853. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq366>
- Carbonell-Bejerano, P. y Martínez-Zapater, J.M. 2013. Estructura y composición de la uva y su contribución al vino. *ACE Revista de Enología*. [Consultado 15 junio 2021]. Disponible en: https://www.acenologia.com/estructura_composicion_vino_cienc1013/
- Carreño, J., Martínez, A., Almela, L. y Fernández-López, J.A. 1995. Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. *Food Research International*. 28(4): 373-377. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00008-A](https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00008-A)
- Champa, W.H., Gill, M.I.S., Mahajan, B.V.C. y Arora, N.K. 2014. Pre-harvest treatments of brassinosteroids on improving quality of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedles. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, 2: 97-104.
- Crupi, P., Antonacci, D., Savino, M., Genghi, R., Perniola, R. y Coletta, A. 2016. Girdling and gibberellic acid effects on yield and quality of a seedless red table grape for saving irrigation water supply. *European Journal of Agronomy*. 80: 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.06.015>
- Deluc, L.G., Quilici, D.R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M.D. Schlauch, K.A., Mérillon, J.M., Cushman, J.C. y Cramer, G.R. 2009. Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics*. 10: 212-233. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-212>
- Fan, J., Xie, Y., Zhang, Z. y Chen, L. 2018. A review: Melatonin: A Multifunctional Factor in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 19: 1528. <https://doi.org/10.3390/ijms19051528>
- Ferrara, G., Mazzeo, A., Matarrese, A.M.S., Pacucci, C., Pacifico, A., Gambacorta, G., Faccia, M., Trani, A., Gallo, V., Cafagna, I. y Mastroianni, P. 2013. Application of abscisic acid (S-ABA) to 'crimson seedless' grape berries in a Mediterranean climate: Effects on color, chemical characteristics, metabolic profile, and S-ABA concentration. *Journal Plant Growth Regulation*. 32: 491-505. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9316-2>
- Freeman, B., Albrigo, L.G. y Biggs, R.H. 1979. Ultrastructure and chemistry of cuticular waxes of developing citrus leaves and fruit (Oranges, tangerines, lemons). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 104(6): 801-808.
- Gámez-Elizalde, M., Mercado-Ruiz, J.N., García-Robles, J.M. y Báez-Sañudo, R. 2020. Interacción del ácido salicílico y el pH en la coloración de uva de mesa "Flame Seedless". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 21: 68-77. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81363356006>
- Geyer, U. y Schönherr, J. 1990. The effect of the environment on the permeability and composition of citrus leaf cuticles. Water permeability of isolated cuticular membranes. *Planta*. 180: 147-153.
- Giménez, M.J., Valverde, J.M., Valero, D., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Serrano, M. y Castillo, S. 2014. Quality and antioxidant properties on sweet cherries as affected by preharvest salicylic and acetylsalicylic acids treatments. *Food Chemistry*. 160: 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.107>
- Habibi, G. 2017. Impact of salicylic acid on phenolic metabolism and antioxidant activity in four grape cultivars during cold storage. *International Journal Horticultural Science and Technology*. 4: 217-228. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.229916.185>
- Hueso, J.J. 2012. Manejo y técnicas de cultivo en uva de mesa apirena. *Fundación Cajamar. España*. 27 pp.
- Janda, T., Gondor, O.K., Yordanova, R., Szalai, G. y Pál, M. 2014. Salicylic acid and photosynthesis: signalling and effects. *Acta physiologicae plantarum*, 36: 2537-2546. DOI 10.1007/s11738-014-1620-y

- Jetter, R., Kunst L. y Samuels, L. 2006. Composition of plant cuticular waxes. In: *Biology of the Plant Cuticle*. Riederer M. y Müller C. (eds). Julius-von-Sachs-Institut, für Biowissenschaften Universität Würzburg, Germany. 145-175 pp.
- Kaur, M, Gill, M.I.S. y Arora, N.K. 2013. Effect of pre-harvest treatment on yield, maturity and quality of "Flame Seedless" grape (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Horticultural Sciences*. 8: 35-40.
- Leguizamón, G.M., González-León, A., Sotelo-Mundo, R., Islas-Osuna, M., Bringas-Taddei, E. García-Robles, M. y Báez-Sañudo, R. 2008. Efecto de luminosidad y temperatura sobre color y parámetros de calidad en uvas rojas para mesa (*Vitis vinifera* L.). *Fitotecnia Mexicana*. 31: 7-17. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.1.7>
- Liu, J., Yue, R., Si, M., Wu, M., Cong, L., Zhai, R., Yang, C., Wang, Z., Ma, F. y Xu, L. 2019. Effects of exogenous application of melatonin on quality and sugar metabolism in 'Zaosu' pear fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*. 38: 1161-1169. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09921-0>
- Meng, J.F., Xu, T.F., Song, C.Z., Yu, Y., Hu, F., Zhang, L., Zhang, Z.W. y Xi, Z.M. 2015. Melatonin treatment of pre-veraison grape berries to increase size and synchronicity of berries and modify wine aroma components. *Food Chemistry*. 185: 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.140>
- Miranda, S., Vilches, P., Suazo, M., Pavez, L., García, K., Méndez, M.A., González, M., Meisel, L.A., Defilippi, B.G. and Del Pozo, T. 2020. Melatonin triggers metabolic and gene expression changes leading to improved quality traits of two sweet cherry cultivars during cold storage. *Food Chemistry*. 319: 126360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126360>
- Movahed, N., Pastore, C., Cellini, A., Allegro, G., Valentini, G., Zenoni, S., Cavallini, E., D'Inca, E., Tornielli, G.B. y Filippetti, I. 2016. The grapevine VviPrx31 peroxidase as a candidate gene involved in anthocyanin degradation in ripening berries under high temperature. *Journal Plant Research*. 129: 513-526. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0786-3>
- NMX-FF-026-SCFI-2006. Productos Alimenticios no Industrializados para Uso Humano – Fruta Fresca– Uva de Mesa (*Vitis Vinifera* L.) – Especificaciones (Cancela A La Nmx-FF-026-1994-Scfi). [Consultado 14 de mayo de 2018] 2006. Disponible en: https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C107_NMX-FF-026-SCFI-2006_R0_7ABR2006.pdf
- Ochoa-Villarreal, M., Vargas-Arispuro, I., Islas-Osuna, M.A., González-Aguilar, G. y Martínez-Téllez, M.A. 2011. Pectin-derived oligosaccharides increase color and anthocyanin content in "Flame Seedless" "Flame Seedless" grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91: 1928-1930. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4412>
- Oraei, M., Panahirad, S., Zaare-Nahand, F. y Gohari, G. 2019. Pre-veraison treatment of salicylic acid to enhance anthocyanin content of grape (*Vitis vinifera* L.) berries. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 99: 5946-5952. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9869>
- Pensec, F., Paczkowski, C., Grabarczyk, M., Wóznia, A., Bernard-Gellon, M., Bertsch, C., Chong J. y Szakiel A. 2014. Changes in the triterpenoid content of cuticular waxes during fruit ripening of eight grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars grown in the upper Rhine Valley. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 62: 7998-8007. <https://doi.org/10.1021/jf502033s>
- Peppi, M.C. 2004. Color development studies in table grapes. MS Thesis. University of California, Davis.
- Peppi, M.C., Fidelibus, M.W. y Dokoozlian, D. 2006. Abscisic acid application timing and concentration affect firmness, pigmentation, and color of Flame Seedless grapes. *Hortscience*. 41: 1440-1445. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.6.1440>
- Riederer, M. y Schneider, G. 1990. The effect of environment in the permeability and composition of citrus leaf cuticles II. Composition of soluble cuticular lipids and correlation with transport properties. *Planta*. 180: 154-165.
- SAS Institute Inc. 2012. The SAS system for windows release 9.3 version. Cary, N.C. USA.
- Schönherr, J. y Riederer, M. 1986. Plant cuticles sorb lipophilic compounds during enzymatic isolation. *Plant Cell and Environment*. 9: 459-466. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1986.tb01761.x>
- Seymour, G.B., Ostergaard, L., Chapman, L.H., Knapp, S. y Martin, C. 2013. Fruit development and ripening. *Annual Review Plant Biol.* 64: 219-41. [10.1146/annurev-arplant-050312-120057](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120057)
- SMN. 2021. Sistema Meteorológico Nacional. [Consultado 7 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/smn>.
- Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Cao, Y., Li, X., Zhang, H., Zhang, L., Tan, D. y Guo, Y. 2016. A label-free differential proteomics analysis reveals the effect of melatonin on promoting fruit ripening and anthocyanin accumulation upon postharvest in tomato. *Journal of Pineal Research*. 61:138-153. <https://doi.org/10.1111/jpi.12315>
- Tafolla-Arellano, J.C., González-León, A., Tiznado-Hernández, M.E. Zacarias-García, L. y Báez Sañudo, R. 2013. Composición, Fisiología y Biosíntesis de la Cutícula en Plantas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(1): 3-12.
- Trivedi, P., Nguyen, N., Hykkerud, A.L., Häggman, H., Martinussen, I., Jaakol, L. y Karppinen, K. 2019. Developmental and environmental regulation of cuticular wax biosynthesis in fleshy fruits. *Front. Plant Science*. 10: 431. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00431>
- Wu, C., Cao, S., Xie, K., Chi, Z., Wang, J., Wang, H., Wei, Y., Shao, X., Zhang, C., Xu, F. and Gao, H., 2021. Melatonin delays yellowing of broccoli during storage by regulating chlorophyll catabolism and maintaining chloroplast ultrastructure. *Postharvest Biology and Technology* 172: 111378. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111378>
- Xu, L., Yue, Q., Xiang, G., Bian, F. y Yao, Y. 2018. Melatonin promotes ripening of grape berry via increasing the levels of ABA, H₂O₂, and particularly ethylene. *Horticulturae Research*. 5:41. <https://doi.org/10.1038/s41438-018-0045-y>
- Yadav, N., Singh, A.K., Emran, T.B., Chaudhary, R.G., Sharma, R., Sharma, S. and Barman, K., 2022. Salicylic Acid Treatment Reduces Lipid Peroxidation and Chlorophyll Degradation and Preserves Quality Attributes of Pointed Gourd Fruit. *Journal of Food Quality*, 2022: D 2090562. <https://doi.org/10.1155/2022/2090562>
- Yang, M., Luo, Z., Gao, S., Belwal, T., Wang, L., Qi, M., Ban, Z., Wu, B., Wang, F. y Li, L. 2021. The chemical composition and potential role of epicuticular and intracuticular wax in four cultivars of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 173: 111430. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111430>
- Zhang, N., Sun, Q., Li, H., Li, X., Cao, Y., Zhang, H., Li, S., Zhang, L., Qi, Y., Ren, S., Zhao, B. y Guo, Y. 2016. Melatonin improved anthocyanin accumulation by regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. *Frontiers Plant Science*. 7: 197. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00197>