

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



“Efectividad del elicitador GABA (ácido γ -aminobutírico) frente a tratamientos comerciales de origen artificial en la poscosecha de aguacates (*Persea americana* M.)”

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2023

Autora: Claudia Gil Navarro

Tutores: Antonio Fabián Guillén Arco

María Celeste Ruiz Aracil

Resumen

España en los últimos años ha incrementado de forma significativa la producción de aguacate, un fruto climatérico que presenta una vida útil muy corta. Además, este fruto es muy sensible a los daños por frío lo que dificulta la conservación. En este Trabajo de Investigación hemos estudiado el efecto de distintos tratamientos poscosecha para incrementar la vida útil de este producto y su posible incidencia en la reducción de los daños por frío. Para ello se han aplicado diferentes tratamientos. 1-Metilciclopropeno como antagonista de la producción de etileno y GABA (ácido γ -aminobutírico), un elicitor natural que se encuentra en todos los órganos de la planta y que inducen un cambio fisiológico partir de la cual se activan mecanismos similares a las respuestas de defensa afectando así al metabolismo de la planta. Tras aplicar los tratamientos y una vez evaluados los frutos se observó que estos mostraron menores pérdidas de firmeza, y pérdidas de peso incrementándose la calidad general de estos frutos reduciendo además los daños por frío con respecto a los frutos control. Por tanto, los tratamientos poscosecha basado en GABA podrían representar una alternativa de origen natural a la hora de incrementar la vida útil de los frutos.

Palabras clave: Almacenamiento, 1-MCP, Daños por frío, Calidad, Elicitor.

Abstract

Spain has significantly increased avocado production in recent years, a climacteric fruit with a very short shelf life. Furthermore, this fruit is highly sensitive to chilling injury, which makes preservation a challenge. In this research work, we have studied the effect of different post-harvest treatments to increase the shelf life of this fruit and the potential impact on reducing chilling injury. Several treatments have been applied for this purpose. 1-Methylcyclopropene, as an antagonist of ethylene production, and GABA (gamma-aminobutyric acid), a natural elicitor found in all plant organs which induces a physiological change that activates defense mechanisms, thus affecting the plant's metabolism. After applying the treatments and evaluating the fruits, it was observed that this fruit showed lower firmness and weight loss, resulting in an overall improvement in the quality of these fruits. Additionally, the treatments reduced cold damage as compared to the control fruit. Therefore, postharvest treatments based on GABA could represent a natural alternative for increasing the shelf life of fruits and reducing cold damage.

Keywords: Storage, 1-MCP, chilling injury, quality, elicitor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. EL AGUACATE.....	6
1.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS.....	6
1.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL	7
1.1.3. EXIGENCIAS RELATIVAS A LA CALIDAD	9
1.1.4. VARIEDADES DE AGUACATE.....	11
1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA.....	11
1.2.1. PRODUCCIÓN DE AGUACATE.....	11
1.2.2. EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN	14
1.3. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA Y DAÑOS POR FRÍO.....	15
1.4. TECNOLOGÍAS POSCOSECHA.....	16
1.4.1. ELICITORES.....	16
1.4.2. OTRAS TECNOLOGÍAS.....	17
2. OBJETIVOS.....	18
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
3.1. MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	20
3.2.1. PÉRDIDA DE PESO	20
3.2.2. FIRMEZA.....	20
3.2.3. MEDICIÓN DE CO ₂ Y ETILENO	20
3.2.4. EVALUACIÓN DEL COLOR EXTERNO DEL AGUACATE.....	22
3.2.5. SÓLIDOS SOLUBLES Y ACIDEZ TOTAL	22
3.2.6. CONTENIDO EN ANTOCIANINAS TOTALES.....	23
3.2.7. FUGA DE ELECTROLITOS.....	23
3.2.8. DAÑOS POR FRÍO.....	23
3.2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24

4.1.	PÉRDIDA DE PESO	24
4.2.	TASA DE RESPIRACIÓN	25
4.3.	PRODUCCIÓN DE ETILENO	27
4.4.	COLOR	29
4.4.1.	COLOR L*	29
4.4.2.	COLOR HUE*	30
4.5.	FIRMEZA	32
4.6.	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES	33
4.7.	ACIDEZ TITULABLE	35
4.8.	ANTOCIANOS TOTALES	36
4.9.	FUGA DE ELECTROLITOS	37
4.10.	DAÑOS POR FRÍO	39
5.	CONCLUSIONES	41
6.	BIBLIOGRAFÍA	42



1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL AGUACATE

1.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se trata de una planta dicotiledónea perteneciente a la familia Lauraceae. Esta familia presenta una gran variabilidad, ya que está formada por 52 géneros y alrededor de 3500 especies (López-Monzón et al., 2019). Dentro de esta gran familia el aguacate pertenece al género *Persea* y a la especie *Persea americana* Miller (Bernal-Estrada y Díaz-Díez, 2020).

A pesar de que el árbol del aguacate puede llegar a alcanzar alrededor de 20 metros de altura, las especies cultivadas para su comercialización no se les suele permitir crecer más de 5 metros, con el objetivo de facilitar las tareas derivadas de su cultivo. Se trata de un cultivo perenne, ya que es cultivado durante todo el año (Pérez-Álvarez et al., 2015). Presenta un tronco de gran grosor, el cual puede llegar a alcanzar los 25 metros de diámetro en su etapa adulta. Posee abundantes hojas pecioladas y en posición alterna, las cuales pueden llegar a presentar dimensiones de 8 a 40 centímetros de longitud y de 3 a 10 centímetros de anchura. (Bernal-Estrada y Díaz-Díez, 2020)

Las flores del aguacate son hermafroditas, presentan órganos masculinos y femeninos funcionales. Sin embargo, se evita la autopolinización permitiendo la polinización cruzada, gracias a un sistema llamado dicogamia protogínica. De esta forma cada flor se abre dos veces en días consecutivos. El primer día la flor está en estado femenino y receptiva al polen. Y el segundo día se encuentra en estado masculino, liberando polen (Namesny et al., 2020).

Botánicamente el aguacate es definido como una baya, presentando con forma ovoide y alargada (Whiley et al., 2002). Está constituido por el exocarpio, que se corresponde con la piel, el mesocarpio, que se trata de la pulpa comestible y finalmente el endocarpio, que se trata de una delgada capa que recubre la semilla del aguacate (Barrientos-Priego et al., 1996). Dependiendo de la variedad y del estado de maduración el color de su piel puede presentar distintas tonalidades, como verdes claros y oscuros, rojizos, violetas e incluso negros (López-Monzón et al., 2019). Su textura también va a variar según la variedad, de forma que es posible encontrar aguacates con su exocarpio rugoso o liso, hecho que se ve influenciado en parte por el clima de cultivo. El endocarpio se identifica más fácilmente en el aguacate inmaduro, ya que una vez maduro esta fina capa se encuentra adherida a la semilla (Barrientos-Priego et al., 1996). En su interior posee una sola semilla

de color marrón claro o marfil y de forma ovalada, cuya longitud varía entre 2 y 4 cm de longitud (López-Monzón et al., 2019), que representa del 13-18% del aguacate (Nyakang'i et al., 2023).

1.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

El aguacate constituye un alimento que aportan gran variedad de nutrientes, lo que lo hace interesante desde el punto de vista nutricional. La pulpa del aguacate aporta un valor energético que varía entre 140 y 228 kcal por cada 100 g. Su composición aproximada es de 67-78% de humedad, 13,5-24% de lípidos, 0,8-4,8% de hidratos de carbono, 1-3% de proteínas, 0,8-1,5% de cenizas y 1,4-3% de fibra (Stephen y Radhakrishnan, 2022).

En cuanto a su composición en macronutrientes destaca su contenido en lípidos. Su perfil lipídico está formado principalmente por ácidos grasos insaturados, en concreto son los ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico y ácido palmitoleico) las grasas predominantes y las que contribuyen en mayor medida al valor energético. También se encuentran pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico) y cantidades significativas de ácidos grasos saturados (ácido palmítico y ácido esteárico). Se ha demostrado que el elevado contenido en ácidos grasos monoinsaturados contribuye a la reducción de los niveles sanguíneos de las lipoproteínas de baja densidad (colesterol LDL) y al aumento de las lipoproteínas de alta densidad (colesterol HDL) (Araújo et al., 2018). Otro hecho destacable es su alto contenido de fibra, donde destaca en mayor proporción la fibra insoluble (70%) frente a la soluble (30%) (Araújo et al., 2018).

En cuanto a los carbohidratos del aguacate, encontramos glucosa y la fructosa, que van aumentando su concentración a medida que avanza la maduración del fruto. Pero a parte de estos monosacáridos también es posible encontrar azúcares de 7 carbonos, como el perseitol y su forma reducida, la D-manoheptulosa (Cowan y Wolstenholme, 2016).

El contenido en proteínas del aguacate es bajo si es comparado con sus otros nutrientes o con otros grupos de alimentos. Sin embargo, puede llegar a aportar cerca del 2% de su valor calórico, lo que resulta una cantidad superior al que proporciona la mayoría de los frutos, que aportan alrededor del 1% (Hurtado-Fernández et al., 2018).

Respecto al contenido en micronutrientes, el aguacate es fuente de vitamina C y vitamina E (α -tocoferol), y posee un contenido relevante de vitamina A (β -caroteno). Estos componentes actúan como antioxidantes celulares frente a la acción de los radicales libres de oxígeno. Las especies reactivas de oxígeno (ROS) son capaces de causar mutaciones en las células, aumentando el riesgo de desarrollo de enfermedades como el cáncer (Cowan y

Wolstenholme, 2016). También es posible encontrar otros antioxidantes, como luteína y zeaxantina, que son esenciales para el cerebro y para prevenir la degeneración macular debido a la edad, cataratas y enfermedades como el Alzheimer (Munhuweyi et al., 2020).

Aunque no se presenta en cantidades significativas, en el aguacate también destaca el contenido en folato, necesario para el desarrollo normal del tubo neural del feto durante el embarazo (Munhuweyi et al., 2020).

Por otro lado, el aguacate es rico en potasio, presenta cantidades importantes de magnesio y en menor proporción hierro, fósforo, calcio y zinc. Se ha observado que el consumo de una dieta con fuente de potasio podría disminuir el riesgo de sufrir accidentes cerebrovasculares (Cowan y Wolstenholme, 2016).

Tabla 1. Composición nutritiva del aguacate.

COMPONENTE	Por 100 g de porción comestible
Energía (kcal)	137
Grasa total (g)	12
Ácidos grasos saturados (g)	1,41
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	9,01
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	1,04
Proteína total (g)	1,5
Agua (g)	78,8
Fibra (g)	6,3
Carbohidratos (g)	0,4
Calcio (mg)	16
Hierro (mg)	0,7
Potasio (mg)	400
Magnesio (mg)	41
Sodio (mg)	2
Fósforo (mg)	28
Ioduro (µg)	2
Selenio (µg)	tr
Zinc (mg)	0,3
Vitamina A, equivalentes de retinol (µg)	19

Vitamina D (µg)	0
Vitamina E, equivalentes de alfa tocoferol (mg)	3,2
Folato (µg)	11
Equivalentes de niacina (mg)	1,5
Riboflavina (mg)	0,12
Tiamina (mg)	0,09
Vitamina B12 (µg)	0
Vitamina B6 (mg)	0,42
Vitamina C, ácido ascórbico (mg)	17

Fuente: AESAN/BEDCA Base de Datos Española de Composición de Alimentos v1.0 (2010).
Tr: trazas, 0: ausente en el alimento.

1.1.3. EXIGENCIAS RELATIVAS A LA CALIDAD

La calidad del aguacate apreciada por el consumidor se debe principalmente a sus propiedades sensoriales, tales como su apariencia general, su textura, su gusto, su aroma, la ausencia de defectos, así como por sus características nutricionales, propiedades funcionales y mecánicas (Salazar-García et al., 2016). Son muy apreciados atributos físicos como el color de la piel y la uniformidad del color, su peso y tamaño comercial, la forma y textura que presenta (Munhuweyi et al., 2020). Sin embargo, estas características pueden verse afectadas por diversos factores ambientales, como son las horas de luz, el estrés hídrico, la composición del suelo, daños físicos producidos durante la recolección o su procesado, entre otros (Ozdemir y Topuz, 2004). Es por ello por lo que la calidad del aguacate se debe considerar desde su plantación hasta su venta al consumidor.

Es necesario que el aguacate llegue al consumidor con una determinada madurez comercial, lo que requiere determinar el momento óptimo de la recolección de los frutos. Esto resulta fundamental para garantizar la calidad que demanda el consumidor y supone un gran desafío para la industria del aguacate. Es debido a que resulta difícil determinar el momento de la recolección en base al aspecto exterior del fruto, ya que los cambios no son visualmente significativos (Alnasan y Yamanishi, 2018). La floración se extiende de 2 a 3 meses, esto provoca grandes variaciones en la edad de los frutos y, por tanto, distintos grados de madurez (Shezi et al., 2020). Sin embargo, el aguacate tiene la particularidad de que no realiza su maduración mientras está adherido al árbol, debido a que existe un flujo de componentes inhibidores de las hojas hasta el fruto que impiden su ablandamiento. Su

maduración tiene lugar por completo a los 5 o 7 días de su recolección (Ozdemir y Topuz, 2004).

Es posible controlar la madurez del aguacate retrasando el momento de la recolección, pero según si se trata de una recolección temprana o tardía, se pueden ver afectadas algunas propiedades del fruto como el contenido de aceite, la textura o el sabor (Vincent et al., 2020). Además, recolectar el aguacate sin tener en cuenta índices de madurez provocaría una maduración desigual y, por ende, pérdidas económicas. El aguacate recolectado de forma prematura tiene mayor probabilidad de marchitarse, presentar una textura gomosa y un sabor acuoso. Mientras que recolectar el fruto de forma tardía tiene mayor probabilidad de sufrir trastornos fisiológicos (Shezi et al., 2020).

El aguacate es un fruto climatérico, que se caracteriza por una elevada tasa de respiración y una alta producción de etileno, haciendo que se trate de un fruto perecedero y que tolere poco los tiempos largos de transporte y almacenamiento (Pachón et al., 2022). La maduración del aguacate implica un conjunto de cambios fisiológicos, bioquímicos y organolépticos que como consecuencia producen el ablandamiento del fruto, cambios de color, el desarrollo del aroma, la acumulación de azúcares y la reducción de la acidez (Perato et al., 2018). Conforme avanza la maduración aumenta el contenido de materia seca y de aceite, mientras que disminuye el contenido de humedad, de azúcares y almidón (Fariñas et al., 2021). Este aumento del contenido de aceite puede llegar a alcanzar valores de hasta el 20% después de la maduración y va acompañado de un cambio en su composición. Se produce un aumento de los ácidos grasos insaturados y una disminución de los ácidos grasos saturados. También se ha observado que azúcares como las heptosas, en concreto la d-manoheptulosa, actúa como un inhibidor de la maduración del fruto. Sin embargo, el contenido de estos azúcares disminuye conforme aumenta el de aceite (Ozdemir y Topuz, 2004).

El índice de madurez más utilizado es la determinación del contenido de materia seca, como una medida indirecta del contenido de agua y que, además, está correlacionado con el contenido de aceite que presenta el aguacate (Melado-Herreros et al., 2021). Aunque de cara a la exportación hay que tener en cuenta que el porcentaje de materia seca puede variar según el país, debido a las condiciones ambientales, las técnicas de cultivo empleadas y el tipo de suelo (Escobar et al., 2019).

La firmeza del aguacate es otro parámetro que puede contribuir a la determinación del grado de madurez y que, además, es utilizado tanto por productores como por consumidores en el momento de la compra (Mazhar et al., 2018). Conforme se va

produciendo el proceso de maduración el fruto se ablanda perdiendo firmeza, debido a la hidrólisis de sus polisacáridos (Benítez et al., 2021). Otros parámetros que pueden contribuir a determinar la madurez del aguacate son el peso, el tamaño, los sólidos solubles totales y la acidez (Salameh et al., 2022).

1.1.4. VARIEDADES DE AGUACATE

Persea americana presenta tres subespecies diferentes, la variedad mexicana (*P. americana* var. *Drymifolia*), la variedad guatemalteca (*P. nubigena* var. *Nubigena* y *P. nubigena* var. *Guatemalensis*) y la variedad antillana (*P. americana* var. *Americana*) (Stephen y Radhakrishnan, 2022).

Los aguacates de la variedad antillana son frutos de gran tamaño, de forma variable, y que presentan menor contenido de aceites. Mientras que los de la variedad mexicana presentan menor tamaño, tienen la piel más delgada, son alargados y tienen un mayor contenido de aceite. Finalmente, la variedad guatemalteca es redonda, con la piel gruesa y con un contenido de aceite intermedio entre las dos variedades anteriores (Yahia y Woolf, 2011).

No hay limitaciones genéticas entre las distintas variedades, lo que significa que la mayoría de los portainjertos y cultivares son mezclas de diferentes variedades. Por ejemplo, “Hass” y “Fuerte” son híbridos, resultado de la combinación entre las variedades guatemalteca y mexicana, y son los más comunes en áreas con climas tropicales. Las variedades mexicana y guatemalteca, junto con sus híbridos, se adaptan mejor a climas mediterráneos y subtropicales, mientras que la variedad antillana se adapta mejor a climas tropicales o semitropicales (Namesny et al., 2020).

1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

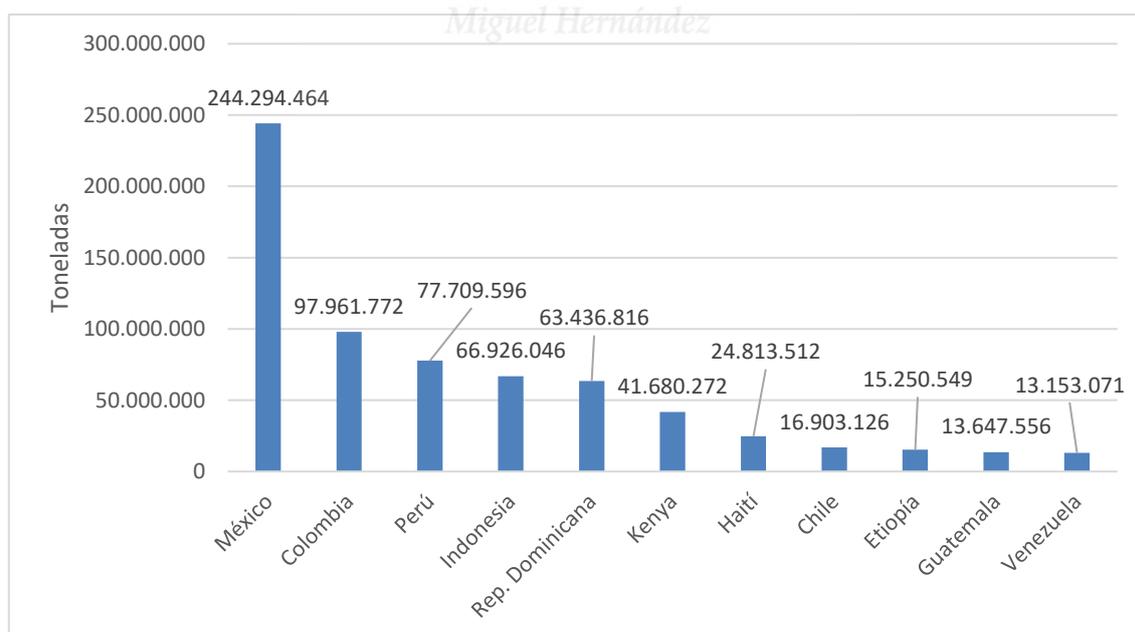
1.2.1. PRODUCCIÓN DE AGUACATE

Cada vez con más frecuencia las preferencias de compra de los consumidores se ven influenciadas por las tendencias actuales, orientadas a la mejora de la alimentación y a lograr un estilo de vida más saludable (Giuggioli et al., 2021). El aguacate es una fruta tropical que se consume y cultiva en todo el mundo. Es un alimento rico en grasas saludables, fibra, vitaminas y minerales, lo que lo convierte en un alimento muy nutritivo y que además presenta un gran sabor (El-Moniem et al., 2023). Los cambios en los hábitos de

vida junto con el excelente aporte de nutrientes hacen que la producción y consumo de aguacate esté en alza, teniendo un gran impacto económico (El-Moniem et al., 2023).

El aguacate se consume principalmente como fruta fresca, pero la industria alimentaria procesa la pulpa para producir otros productos como guacamole, aguacate deshidratado y aceites, entre otros (Sánchez-Quezada et al., 2023). Aunque también es muy utilizado por la industria cosmética y farmacéutica, incrementando la comercialización y proporcionándole un valor añadido al aguacate (Melgar et al., 2018).

La industria del aguacate se centra en la utilización de la pulpa, generando una gran cantidad de residuos, especialmente la semilla y la piel. Unos desechos que pueden llegar a representar del 21 al 30 % del peso del aguacate (Rodríguez-Martínez et al., 2022). Son ricos en carbohidratos, lípidos, proteínas, fibras, minerales y distintos compuestos bioactivos, de manera que pueden resultar útiles para el desarrollo de otros alimentos, productos sanitarios y farmacológicos (Salazar-López et al., 2020). Se ha observado que la piel de aguacate posee propiedades antioxidantes y que puede emplearse como conservante en la fabricación de alimentos. Además, presenta una elevada actividad antimicrobiana, tanto contra bacterias gram positivas como negativas (Nyakang'i et al., 2023). También es posible aprovechar estos subproductos para la extracción de aceites y otros compuestos que pueden resultar útiles como aditivos, en cosméticos y en fármacos (Hurtado-Fernández et al., 2018).

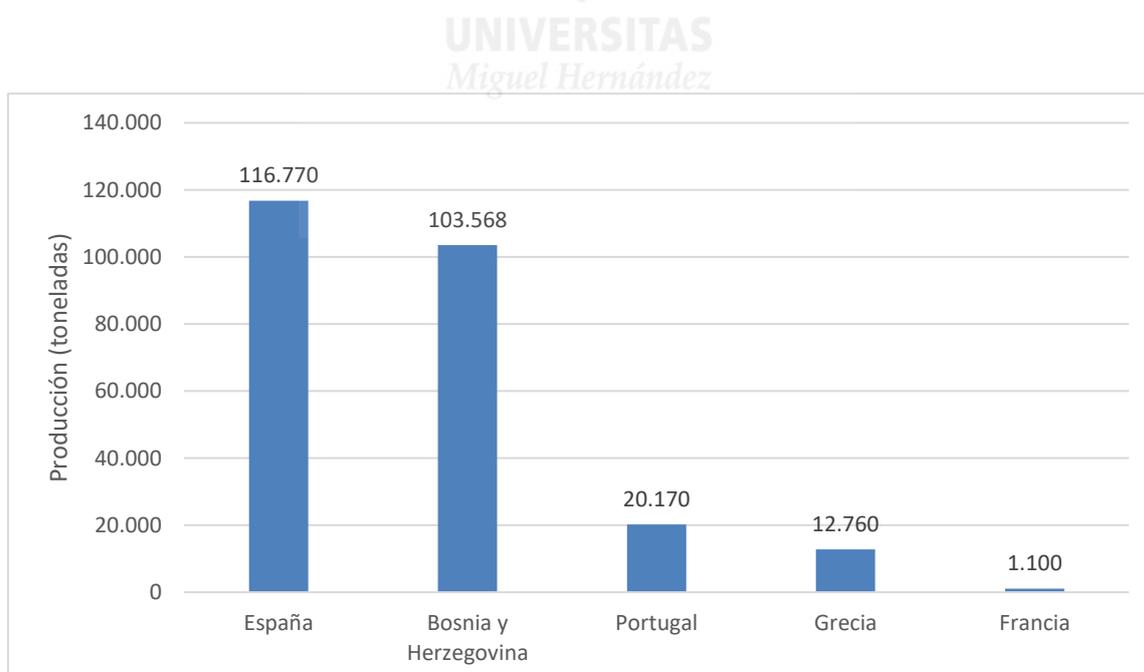


Gráfica 1. Países con mayor producción de aguacate, año 2021. Fuente: FAOSTAT, 2023.

Es posible encontrar distintas variedades de aguacate, pero las más conocidas y comercializadas son los de la variedad Hass y Fuerte (Araújo et al., 2018). Los de la variedad Hass representan entre el 80 y el 95 % de los aguacates cosechados a nivel mundial (El-Moniem et al., 2023).

El aguacate es cultivado principalmente en regiones tropicales y subtropicales (Tesfaye et al., 2022). Es originario de Centroamérica, pero en la actualidad es cultivado en distintas regiones de todo el mundo (Hurtado-Fernández et al., 2018). Generando, de acuerdo con la FAOSTAT (2020), una producción de 8,06 millones de toneladas durante el año 2020 (Nyakang'i et al., 2023). México es el mayor productor de aguacate a nivel mundial, y se ha mantenido así durante la última década, seguido de Colombia y Perú (Nyakang'i et al., 2023).

Según los datos más actualizados de la FAOSTAT, en el año 2021 España destacó como el principal productor de aguacates en Europa, con una producción aproximada de 116.770 toneladas. En segundo lugar, pero también con una producción significativa, se encuentra Bosnia y Herzegovina. Otros países europeos, como Portugal, Grecia y Francia, también cultivan aguacates, pero en cantidades mucho menores en comparación con los dos países anteriores (FAOSTAT, 2023). Estos datos reflejan la importancia de España como líder en la producción de aguacates en Europa, seguido de otros países que también contribuyen, aunque en menor medida, a la producción de aguacate en la región.



Gráfica 2. Principales países europeos productores de aguacate, año 2021. Fuente: FAOSTAT, 2023

Alrededor del 86% de la producción de aguacate en España se concentra en la región de Andalucía, concretamente en la costa subtropical de Málaga y Granada (Moreno-Ortega et al., 2019). La restante producción está localizada principalmente en las Islas Canarias, donde predominan árboles jóvenes. Las variedades dominantes en los huertos andaluces son Haas, Bacon, Fuerte y Zutano. En Málaga, el 90% de la producción de aguacate se destina a la variedad "Hass", mientras que el resto corresponde a una mezcla de las otras tres variedades (Serra-Bonvehi et al., 2019). El aguacate es el cultivo frutícola subtropical más importante de Andalucía, seguido de la chirimoya, el mango y el níspero. El clima subtropical y las zonas de cultivo en las provincias de Granada y Málaga, así como en las Islas Canarias, son requisitos para el desarrollo exitoso del cultivo del aguacate. Ya que se trata de un clima mediterráneo subtropical único en Europa, caracterizado por temperaturas medias suaves y alta humedad durante todo el año (Rodríguez-Pleguezuelo et al., 2018).

1.2.2. EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN

Durante el año 2021 se registró una gran exportación de aguacates, alcanzando un total de 313.223.392 toneladas. México se destacó como el líder indiscutible en la exportación de aguacates a nivel mundial, con una cifra cercana a las 12.707.018 toneladas. En menor medida que México, Perú también contribuyó significativamente a las exportaciones, alcanzando la cantidad de 54.151.927 toneladas. Otros países que se suman a las exportaciones en grandes cantidades son España, con un total de 14.061.892 toneladas, y Chile, con 9.802.899 toneladas (FAOSTAT, 2023).

En ese mismo año, se registraron grandes volúmenes de importaciones de aguacates, alcanzando un total de 321.344.315 toneladas. El país que encabezó la lista como el mayor importador fue Estados Unidos, con una cantidad significativa de 121.341.275 toneladas de aguacates importados. En segundo lugar, se encuentra Países Bajos, con una importación de 45.717.245 toneladas, seguido por España, que importó 21.390.707 toneladas. Otros países que destacan en términos de importación de aguacates fueron Francia, con un total de 18.129.152 toneladas, y Alemania, con 12.390.707 toneladas importadas. Estos datos reflejan la demanda y la importancia del aguacate en el mercado internacional, con Estados Unidos liderando las importaciones y otros países europeos teniendo un papel significativo en la importación de esta fruta (FAOSTAT, 2023).

1.3. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA Y DAÑOS POR FRÍO

A nivel mundial, se estima que las pérdidas de frutas después de la cosecha oscilan entre el 2 y el 23 % en países desarrollados, y pueden llegar hasta el 50% en países en desarrollo. Gran parte de estas pérdidas tienen lugar durante los procesos posteriores a la cosecha, especialmente durante la manipulación y transporte. En el caso del aguacate, las pérdidas poscosecha pueden alcanzar hasta el 30 % debido a prácticas inadecuadas y la falta de conocimiento sobre el comportamiento del fruto tras la recolección (Márquez et al., 2014).

Los aguacates presentan limitaciones en cuanto su calidad después de la recolección debido a diversos factores. Estos incluyen daños mecánicos, maduración desigual, daños por frío, aparición de pulpa gris, pardeamiento vascular e infestación de insectos. Estas limitaciones son comunes, contribuyen a la pérdida de atractivo estético del fruto y al desarrollo de su descomposición (Munhuweyi et al., 2020).

El almacenamiento de los aguacates en frío tras la recolección es una técnica muy utilizada en la industria, llevada a cabo con el objetivo de retrasar el ablandamiento del fruto debido a su proceso de maduración y de esta forma prolongar su vida útil (Defilippi et al., 2018). Se ha demostrado que la reducción de la temperatura de almacenamiento retrasa el climaterio, posiblemente por el bloqueo o la reducción de la producción de etileno (Vincent et al., 2020). Sin embargo, el régimen de temperatura debe de ser estricto, ya que temperaturas excesivamente bajas pueden afectar de forma negativa a la calidad del fruto (Kassim y Workneh, 2020).

Se han realizado estudios que señalan que el almacenamiento en condiciones de frío puede causar daños al fruto, manifestándose en forma de decoloración del mesocarpio, un ablandamiento excesivo de los tejidos y malos sabores (Ortiz-Viedma et al., 2018). Además, se pueden observar síntomas como dificultad para madurar y oscurecimiento de los haces vasculares de la pulpa (Namesny et al., 2020).

Las condiciones de estrés, como el almacenamiento a bajas temperaturas, suelen generar un aumento de las ROS, las cuales causan estrés oxidativo y pueden desencadenar la peroxidación de los lípidos en las células. Esto puede llevar a la ruptura de las células y a la pérdida de la integridad del fruto si el estrés se mantiene en el tiempo, posiblemente debido a un mayor proceso de peroxidación de lípidos y/o una disminución en el contenido de antioxidantes (Vincent et al., 2023) El estrés oxidativo causado por el frío resulta en daños a la integridad de la membrana celular, lo que provoca la filtración de compuestos

fenólicos desde la vacuola al citoplasma. Estos compuestos fenólicos se oxidan y causan un oscurecimiento del fruto debido a la acción de la enzima polifenoloxidasas (PPO) (Mendieta et al., 2016).

En el epicarpio del aguacate se observa la presencia de picaduras (pitting), así como escaldado y áreas ennegrecidas (Namesny et al., 2020). La gravedad de los daños por frío está determinada tanto por la temperatura de almacenamiento como por el tiempo de exposición.

1.4. TECNOLOGÍAS POSCOSECHA

1.4.1. ELICITORES

Los elicitores son metabolitos de señal de bajo peso molecular y diversidad química, que desencadenan respuestas inmunológicas celulares en las plantas y estimulan la síntesis de metabolitos secundarios (Asadollahei et al., 2023).

El ácido γ -aminobutírico (GABA) es un aminoácido no proteico de 4 carbonos que desempeña un papel importante en la respuesta al estrés ambiental (Bouché y Fromm, 2004). En plantas GABA se produce a través de una vía metabólica denominada vía de derivación GABA, a partir del glutamato en una reacción catalizada por la enzima glutamato descarboxilasa (GAD) (Mahadi-Hasan et al., 2021; Signorelli et al., 2021).

El GABA se considera una molécula multifuncional que ayuda a las plantas hacer frente a estreses ambientales, tanto de origen biótico como abiótico. Existe una gran evidencia científica que respalda la relación positiva entre el GABA y la resistencia de las plantas frente a ataques de herbívoros y patógenos, a la sequía, el calor, el frío, la salinidad, las altas concentraciones de metales pesados y la falta de oxígeno (Signorelli et al., 2021). Desempeña un papel crucial en el equilibrio carbono/nitrógeno, en la estimulación de la fotosíntesis de las plantas, en la eliminación de las ROS y otros procesos (Yuan et al., 2023).

Con el fin de reducir las pérdidas poscosecha, se ha recomendado la utilización de tratamientos con sustancias naturales como el GABA. Se demostró que posee la capacidad de mediar en los procesos fisiológicos que tienen lugar tras la cosecha, como la senescencia, la tolerancia al frío y el mantenimiento de la calidad de los productos hortícolas durante el almacenamiento en frío. Se ha observado que el GABA puede mejorar la capacidad de las enzimas antioxidantes para eliminar ROS, reducir la actividad de las enzimas fosfolipasa D y lipoxigenasa, lo cual resulta en un aumento en el contenido de ATP y energía celular.

Además, el GABA ayuda a mantener la firmeza de los productos hortícolas, así como los niveles de ácido ascórbico, fenoles y flavonoides, lo que contribuye al mantenimiento de la calidad de los productos durante el almacenamiento en frío tras la cosecha. También se ha observado que el GABA promueve la tolerancia al frío en diferentes cultivos en dichas condiciones de almacenamiento (Asgarian et al., 2022).

1.4.2. OTRAS TECNOLOGÍAS

De la misma forma que ocurre con otros frutos climatéricos, el control de las concentraciones de etileno en el ambiente de almacenamiento es fundamental para prolongar la vida útil y la calidad del producto (Meyer y Terry, 2010). El etileno acelera la maduración de los aguacates en poscosecha. A lo largo de la cadena de suministro es común encontrar concentraciones elevadas de etileno, especialmente en lugares donde se almacenan frutos que liberan grandes cantidades de este compuesto. Esto hace que los aguacates estén expuestos a altos niveles de etileno, acortando de esta forma su vida útil (Gwanpua et al., 2018). Además de utilizar sistemas que regulen o supriman los niveles de etileno, la aplicación de compuestos que bloquean sus efectos es una manera sencilla de estudiar la relación entre el etileno, la maduración de la fruta y la senescencia (Jeong et al., 2002).

El compuesto 1-metilciclopropeno (1-MCP) ha sido ampliamente estudiado y se ha observado que resulta eficaz para prolongar la vida poscosecha de diversos cultivos, como vegetales, flores y frutas que maduran tanto en presencia como en ausencia de etileno (Canto-Pereira et al., 2014). Funciona bloqueando los sitios de unión del etileno, lo que impide que desencadene la maduración de los cultivos (Ochoa-Ascencio et al., 2009). Actúa ocupando los receptores celulares, bloqueando la cascada de transducción de señales que produce la expresión de los genes que están relacionados con las respuestas al etileno (Pachón et al., 2022). Este compuesto de origen artificial se considera uno de los inhibidores de la acción del etileno más efectivo, ya que es activo en concentraciones extremadamente bajas, está fácilmente disponible para su uso comercial y no es tóxico a las dosis aplicadas (Pereira et al., 2014). La aplicación del 1-MCP retrasa el ablandamiento y el cambio de color de los cultivos (Woolf et al., 2005).

En el caso del aguacate, retrasa de manera efectiva el climaterio respiratorio, el pico de producción de etileno, el ablandamiento del mesocarpio y el cambio de color de su piel (Meyer y Terry, 2010). Sin embargo, la efectividad del tratamiento puede variar dependiendo del momento en el que se aplique en relación con el desarrollo del climaterio,

ya que una vez que se ha desencadenado la maduración, es difícil detener el proceso (Ochoa-Ascencio et al., 2009).

No obstante, el uso de 1-MCP puede producir una maduración desigual en ciertos casos, especialmente en aguacate de cosechas tardías. En estas situaciones, se observa que el tejido de la pulpa se adhiere a la semilla al cortar el fruto por la mitad o es posible encontrar áreas duras en el tejido blando. Además, en algunos estudios se ha observado que el 1-MCP afecta negativamente a la maduración de los aguacates tempranos, alterando los perfiles de ácidos grasos y azúcares durante el almacenamiento a temperaturas de 5°C (Gwanpua et al., 2018).

2. OBJETIVOS

El aguacate ha experimentado un notable crecimiento en su popularidad y consumo en España en los últimos años, consolidándose como una fruta emergente en el país. Esta creciente demanda se debe en gran medida a las características únicas del aguacate, como su sabor suave y cremoso, su textura agradable y sus beneficios para la salud.

La creciente importancia del aguacate como fruta emergente en España ha generado oportunidades para los productores locales, promoviendo el desarrollo económico y la diversificación de cultivos en diferentes regiones del país. Sin embargo, a pesar del creciente interés en el aguacate en España, uno de los desafíos clave que enfrenta la industria es la problemática de la corta vida útil de este fruto y de los daños por frío que manifiesta cuando se almacena en refrigeración para tratar de aumentar esta vida útil. Estos problemas de calidad pueden ocurrir durante el almacenamiento y transporte a larga distancia, lo que afecta la vida útil del producto y su capacidad para llegar al consumidor en condiciones óptimas.

En este sentido, para abordar esta problemática en este Trabajo Final de Grado se propone como objetivo principal el estudio de distintas tecnologías para paliar los daños por frío y aumentar la vida útil de este producto. Para ello se van a comparar dos diferentes tecnologías basadas en sustancias de origen artificial comúnmente empleadas en la conservación de las frutas y hortalizas como es el 1-MCP, y en sustancias de origen natural como el GABA que no ha sido estudiada en estos frutos.

Tras la evaluación de distintos parámetros de calidad durante el almacenamiento de los aguacates tratados con ambas tecnologías, trataremos de dilucidar el efecto positivo que

pueden provocar estos distintos métodos de conservación para asegurar el aumento de la vida útil y la reducción de los daños por frío que sufren comúnmente estos frutos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Los aguacates cv. Hass (*Persea americana* Mill.) fueron cosechados en una finca comercial en Granada (España) y transportados al laboratorio el mismo día de la cosecha. En el laboratorio, la fruta fue seleccionada de forma homogénea considerando parámetros como tamaño, ausencia de defectos y color de cada pieza. Después de la selección, los aguacates se agruparon en 3 réplicas de 5 frutas para cada tratamiento y día de muestreo. Para el tratamiento de control, se aplicaron inmersiones en agua destilada durante 10 minutos.

Para el tratamiento con GABA, se realizaron inmersiones en una solución de 1 mM durante 10 minutos. Los tratamientos con 1-MCP se aplicaron mezclando tabletas comerciales que liberan 300 ppb utilizando una solución activadora comercial proporcionada por SmartFresh (Agro-Fresh Inc., Philadelphia, PA). Todas las inmersiones de los diferentes lotes también contenían tween-20 (0,05 %). Una vez tratadas, las frutas se dejaron secar a 20 °C durante 1 hora y luego se colocaron en recipientes individuales de plástico de 130 litros por tratamiento, proporcionando las mismas condiciones para los diferentes lotes. Los recipientes se cerraron herméticamente y así el 1-MCP liberado actuó durante 24 horas a 20 °C, mientras que los lotes de control o los tratados con GABA quedaron expuestos en estos recipientes al aire normal en las mismas condiciones de temperatura. Todas estas frutas se almacenaron durante 28 días a 5 °C y 90% de humedad relativa, más un período adicional de 5 días a 20 °C para determinar su vida útil posterior en muestreos realizados de forma semanal. En los tratamientos con 1-MCP, la dosis óptima aplicada en estas frutas se eligió entre las probadas en esta variedad por Defilippi et al. (2018). En los lotes tratados con GABA, en un estudio preliminar se probaron dosis de 10 mM y 1 mM en inmersiones de 10 y 60 minutos, siendo la dosis óptima la de 1 mM durante 10 minutos, la cual se utilizó para este experimento. Seguidamente en cada uno de los muestreos y tras evaluar los parámetros no destructivos se partían de forma transversal (dos partes iguales), separando piel y pulpa del aguacate obteniendo muestras homogéneas de 15 mitades por lote. Una de ellas se usó para obtener los niveles de sólidos solubles,

acidez y de compuestos bioactivos y la otra para evaluar los daños por frío (n=3). A continuación, se detallan las distintas determinaciones relacionadas.

3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.2.1. PÉRDIDA DE PESO

En cada uno de los días de muestro se pesaron los lotes correspondientes, expresados en gramos (g). La determinación del peso se hizo mediante una balanza Radwag con dos cifras decimales de precisión ± 0.01 . Los aguacates de cada lote fueron pesados de forma individual y los resultados representan la media \pm ES (n=3).

3.2.2. FIRMEZA

La firmeza del fruto se evaluó utilizando un texturómetro conectado a una computadora que procesa los datos obtenidos por el dispositivo. Este ensayo tiene como objetivo deformar el producto en relación con su diámetro ecuatorial. Para ello, se utilizó un disco plano de acero montado en el texturómetro. El disco descendió a una velocidad de 20 mm/min hasta alcanzar una deformación del 5%. Se realizaron dos mediciones en cada lado del fruto de forma individual (n=3). Los resultados se expresaron como la relación entre la fuerza necesaria para lograr la deformación mencionada y la distancia de dicha deformación en $N\ mm^{-1}$.

3.2.3. MEDICIÓN DE CO₂ Y ETILENO

Durante el proceso de respiración, los tejidos vegetales consumen O₂ y liberan CO₂. El metabolismo del fruto está estrechamente relacionado con la respiración. Medimos la respiración mediante la producción de CO₂ y el consumo de O₂. Normalmente se mide el consumo de CO₂ debido a su simplicidad. Utilizamos el sistema estático propuesto por Kader (1992). Para determinar el CO₂ en este sistema estático, colocamos individualmente los frutos enteros en recipientes plásticos herméticos con una capacidad de 4,4 L, los cuales tenían una tapa con una válvula de material elastómero para inyectar las muestras. Los frutos se mantuvieron en los recipientes durante 1 hora. Después de este tiempo, se extrajo el aire del espacio de cabeza del interior del recipiente utilizando 2 jeringuillas con un volumen de 1 mL cada una. Cada tratamiento se analizó en triplicado. Para medir el CO₂, se inyectó el contenido de las jeringuillas en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 14A). La concentración de CO₂ en las muestras se calculó comparando el área de integración del pico

de la muestra con la de los patrones de concentración conocida utilizados. Los resultados de la tasa de respiración se expresaron como media \pm error estándar y se reportaron en $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (n=3).

A continuación, se detallan las condiciones de trabajo utilizadas:

Temperatura del horno: 50 °C

Temperatura del inyector: 115 °C

Temperatura del detector: 115 °C

Flujo del gas portador (Helio): 16 ml/mm

Patrón utilizado: aire atmosférico (0.036%)

Para medir la producción de etileno, utilizamos el mismo sistema estático utilizado para la determinación de la actividad respiratoria. Se extrajeron e inyectaron otras dos jeringuillas por cada tratamiento y réplica en el cromatógrafo Shimadzu GC-2010, equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna de acero inoxidable de 3 m de longitud total y 2 mm de diámetro interno, rellena de alúmina de 60/80 mesh.

Las condiciones de trabajo del cromatógrafo fueron las siguientes:

Flujo del gas portador (He): 50 mL/min.

Flujo de hidrógeno (H₂): 40 mL/min.

Flujo de aire: 400 mL/min.

Temperatura del inyector: 100 °C.

Temperatura del detector: 150 °C.

Temperatura de la columna: 100 °C.

Patrón utilizado: Etileno 10ppm.

Los resultados de la producción de etileno se expresaron en nmoles $\text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, y se reportaron como media \pm error estándar de 6 determinaciones (n=3).

3.2.4. EVALUACIÓN DEL COLOR EXTERNO DEL AGUACATE

Para analizar el color de estos frutos, se utilizó un colorímetro triestímulo Konica Minolta modelo CR400 que emplea el sistema CIE Lab (L^* , a^* , b^*). Se realizaron tres mediciones en tres puntos equidistantes a lo largo del fruto, de forma individual ($n=3$).

Este sistema de medición es ampliamente utilizado debido a su capacidad para representar el color de manera similar a la percepción humana. Las coordenadas están relacionadas con tres índices básicos que se evalúan en cualquier análisis de color: luminosidad y cromaticidad.

Los tres parámetros se describen de la siguiente manera:

L^* : Indica el nivel de luminosidad del fruto y varía de 0 (negro) a 100 (blanco).

a^* y b^* : Representan conjuntamente la cromaticidad, donde a^* abarca desde colores verdes ($-a^*$) hasta colores rojos ($+a^*$), y b^* abarca desde colores azules ($-b^*$) hasta colores amarillos ($+b^*$).

Cada valor se expresa mediante las coordenadas L^* , a^* y b^* , que representan un punto en un espacio tridimensional (Minolta, 1994). Los resultados se presentan como L^* , a^* , b^* , y ángulo Hue^* ($\arctg b^*/a^*$).

3.2.5. SÓLIDOS SOLUBLES Y ACIDEZ TOTAL

El contenido total de sólidos solubles (SST) se determinó por duplicado en el zumo filtrado y centrifugado extraído de la mezcla de 5 mitades de aguacate para cada réplica por lote. El TSS en el zumo de aguacate filtrado y centrifugado se midió utilizando un refractómetro digital Atago PR-101 (Atago Co., Ltd. Tokio, Japón) a 20°C. Los resultados de los SST se expresan en g por cada 100 g de muestra.

Para determinar la acidez de los frutos se utilizó 1 ml del zumo extraído de los aguacates de la forma descrita anteriormente y se disolvió en 25 ml de agua destilada. Para poder realizar este análisis, se empleó un valorador automático Metrohm, modelo 785DMP Tritino. Así se consiguió realizar la valoración hasta un pH final de 8,1 con NaOH 0,1 N por duplicado en cada réplica. Los resultados se expresaron en mg equivalentes del ácido orgánico mayoritario (ácido málico) y el resultado final se expresó en como la media \pm ES.

3.2.6. CONTENIDO EN ANTOCIANINAS TOTALES

Las antocianinas totales fueron evaluadas en la piel de los aguacates siguiendo el método descrito por García-Pastor et al., (2020). Para ello 5 gramos de piel se homogeneizaron con 15 mL de metanol: ácido clorhídrico: agua (79: 1: 20, v / v / v) y luego se centrifugaron a 10.000 g durante 10 min a 4 ° C. Se midió la absorbancia a 520 nm en el sobrenadante (por duplicado para cada muestra) y el contenido total de antocianinas se expresó como mg 100 g⁻¹ de equivalentes de cianidina 3-O-glucósido y son la media ± ES de las determinaciones realizadas por duplicado en cada una de las extracciones realizadas en cada muestra (n=3).

3.2.7. FUGA DE ELECTROLITOS

La fuga de electrolitos se evaluó en la piel del aguacate siguiendo el método descrito por McCollum y McDonald (1991) con algunas modificaciones. Se extrajeron quince discos para cada réplica de cinco frutas de aguacate, de 0,5 cm de diámetro. Después de tres enjuagues de 3 minutos para cada réplica con agua desionizada, se colocaron en agitación constante con 50 mL de agua desionizada a temperatura ambiente. Después de 60 minutos, se midió la conductividad eléctrica inicial (C1) utilizando un medidor de conductividad Crimson. Las muestras se congelaron y luego se llevaron a 121 °C durante 15 minutos. La conductividad total (C2) se evaluó con las muestras a temperatura ambiente (20 °C). Así la fuga de electrolitos se calculó como $(C1/C2) \times 100$.

3.2.8. DAÑOS POR FRÍO

La determinación de la susceptibilidad del aguacate a los daños por frío se realizó mediante la evaluación visual de la decoloración del mesocarpio según el método descrito por (Van Rooyen y Bower, 2006). La evaluación visual se llevó a cabo en el fruto seccionado longitudinalmente y se calificó visualmente de inmediato para la decoloración del mesocarpio utilizando una escala de 0 a 10, donde 0 = ninguna decoloración y 10 = el 100% del área de corte de la superficie está negra. Se aplicó la siguiente ecuación para evaluar los daños por frío:

$$\sum (\text{nivel de daño}) \times (\text{número de frutos con ese nivel de daño}) / \text{Total } n^{\circ} \text{ frutos}$$

3.2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en este estudio. Todos los datos en ese documento se expresan como la media \pm error estándar (SE). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA). Las comparaciones de medias se realizaron utilizando la prueba de Tukey para encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$). Diferentes letras representan una diferencia significativa entre los tratamientos para una misma fecha de muestreo. Todos los análisis se realizaron con el paquete de software SPSS, versión 22 (IBM Copr. Armonk, NY, USA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PÉRDIDA DE PESO

Al analizar la evolución de la pérdida de peso (Figura 1) se comprobó, como era de esperar, que aumentó durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Al estudiar el impacto de los tratamientos sobre la pérdida de peso, observamos que tanto las aplicaciones con 1-MCP como con GABA fueron eficaces a la hora de retrasar significativamente ($p < 0.05$) la pérdida en comparación con los frutos control.

A lo largo del almacenamiento, tanto los frutos tratados con GABA como los tratados con 1-MCP, mostraron pérdidas de peso similares ($p > 0.05$). A pesar de que al principio del almacenamiento los frutos tratados con GABA mostraron menores pérdidas de peso que el resto de los lotes, a lo largo del proceso no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto a los frutos tratados con 1-MCP. Sin embargo, hacia el final del almacenamiento los frutos tratados con GABA mostraron pérdidas de peso mayores y similares a las de los frutos control, mientras que los tratados con 1-MCP mantuvieron los valores más bajos al final del almacenamiento. Las pérdidas de peso son debidas a la pérdida de agua que experimenta el fruto a causa del proceso de transpiración, lo que provoca modificaciones en el estado hídrico de los frutos (Magaña-Benítez et al., 2013; Muy-Rangel et al., 2022).

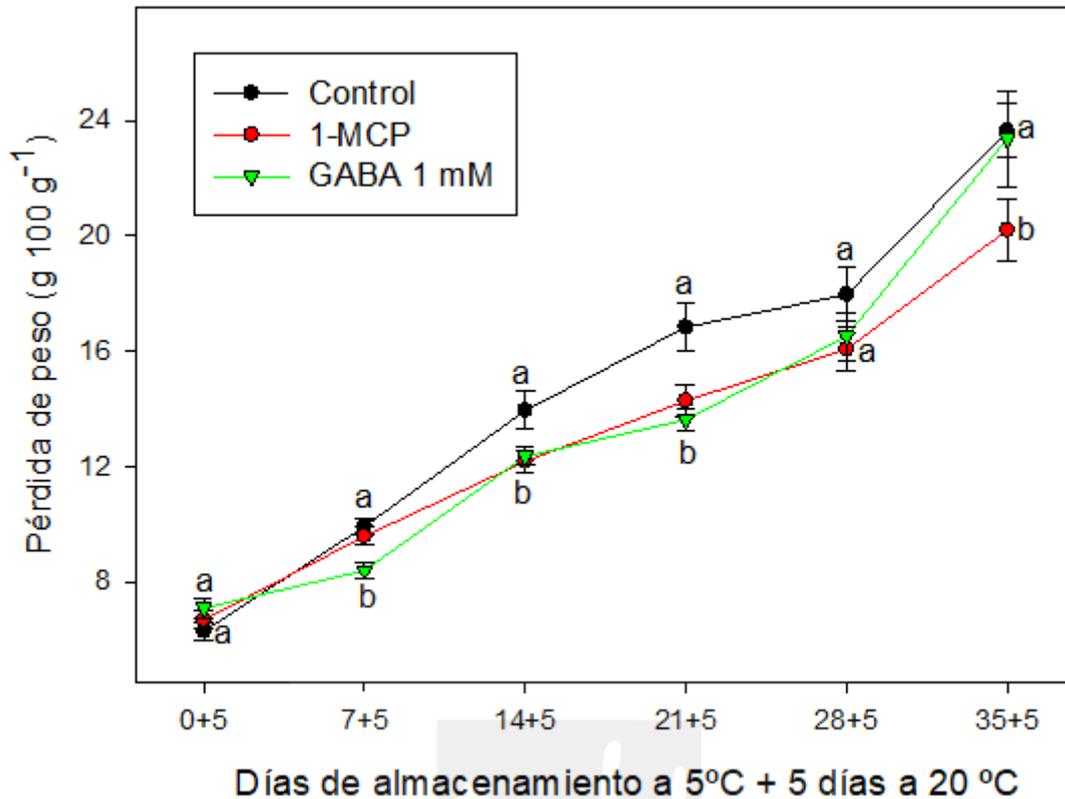


Figura 1. Evolución de las pérdidas de peso ($g\ 100\ g^{-1}$) de los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a $5\ ^\circ C$ más 5 días a $20\ ^\circ C$. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Estas pérdidas van aumentando a lo largo del almacenamiento. La pérdida de agua en el aguacate se va a traducir en un aumento del contenido de materia seca y contenido de aceite (Sandoval-Sandoval, 2017). Investigaciones relacionadas con la utilización del 1-MCP en mangos también han demostrado la eficacia de esta sustancia para retrasar la pérdida de peso en dichas frutas (Gaikwad et al., 2020), probablemente debidas a una mayor integridad de los frutos y a una menor respiración. Asimismo, el GABA ha sido descrito como una sustancia antisenescente capaz de reducir el estrés que provoca el almacenamiento en frío y con ello mantener el correcto funcionamiento celular durante más tiempo en condiciones abióticas adversas (Shelp et al., 2021).

4.2. TASA DE RESPIRACIÓN

El aguacate, al tratarse de un fruto climatérico, se caracteriza por un aumento de la respiración durante el proceso de maduración, el cual va acompañado de un aumento de los niveles de etileno. Este hecho acelera la velocidad de deterioro y senescencia del fruto

(Martínez-González et al., 2017). Aunque la actividad fotosintética de los frutos se detenga tras la recolección, continúan llevando a cabo el proceso de respiración. En nuestro caso, con respecto a la respiración de los frutos, se observó como este parámetro efectivamente experimentó un incremento, alcanzando un pico máximo tras los 14 días, que descendió paulatinamente a partir de ese día.

Al analizar los tratamientos aplicados (Figura 2), se observaron diferencias significativas entre ellos, especialmente al inicio del período de almacenamiento. Los frutos tratados con 1-MCP y GABA mostraron mayores valores de respiración en comparación con los frutos control al inicio del experimento. Con respecto al pico respiratorio, los frutos tratados con GABA también mostraron valores significativamente más altos ($p < 0.05$) en comparación con los tratados con 1-MCP y los frutos control. Sin embargo, tras el pico respiratorio hasta el final del almacenamiento, todas estas diferencias entre los tratamientos se fueron reduciendo gradualmente.

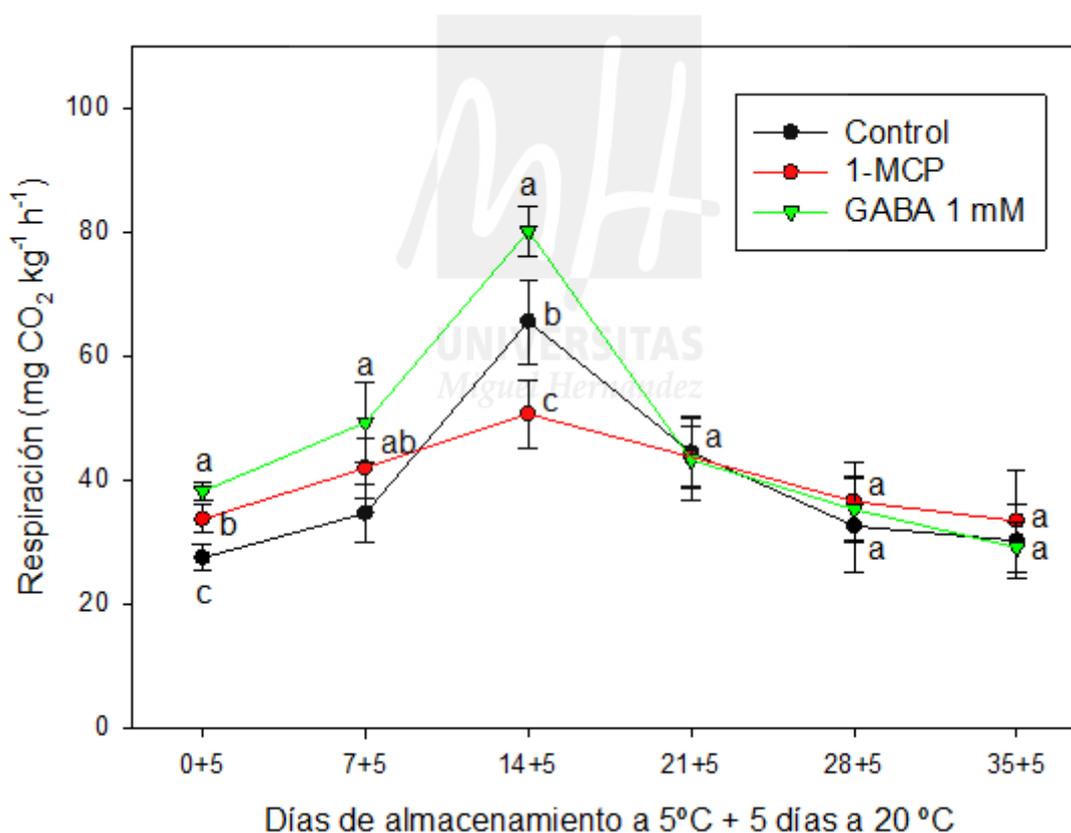


Figura 2. Evolución de la respiración CO₂ (mg kg⁻¹ h⁻¹) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media ± ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Mientras que los tratamientos con 1-MCP redujeron ligeramente la respiración de los frutos, tal y como se ha descrito en diversos estudios (Watkins et al., 2006) observamos como los frutos tratados con GABA mostraron un nivel superior en el pico de respiración. Una mayor respiración suele estar relacionada con un mayor metabolismo celular, pero en el caso del GABA, se ha descrito como el incremento de GABA podría afectar al ciclo de ácidos tricarboxílicos, acelerando la obtención de energía con la que se podrían estar cubriendo las necesidades energéticas adicionales que las situaciones de estrés (almacenamiento en refrigeración) suelen producir en los frutos (Nikmaran et al., 2017; Shelp et al., 2021).

4.3. PRODUCCIÓN DE ETILENO

Al estudiar la producción de etileno a lo largo del almacenamiento (Figura 3) se observó que en general fue disminuyendo para la mayoría de los tratamientos aplicados, aunque este comportamiento no fue así para todos los lotes. De hecho, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. A lo largo de casi todo el periodo de almacenamiento los frutos tratados con 1-MCP mostraron tasas de producción de etileno mucho más elevadas, experimentando un gran pico hacia la mitad del almacenamiento que desciende bruscamente hasta igualar las tasas de etileno de los frutos control y los tratados con GABA. De forma que al final del periodo de almacenamiento los tres tratamientos no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Por otro lado, en los frutos tratados con GABA no se observó un pico de producción de etileno y fue el tratamiento que menor producción mostró en distintos muestreos, con diferencias significativas con respecto al resto de los lotes evaluados ($p < 0.05$).

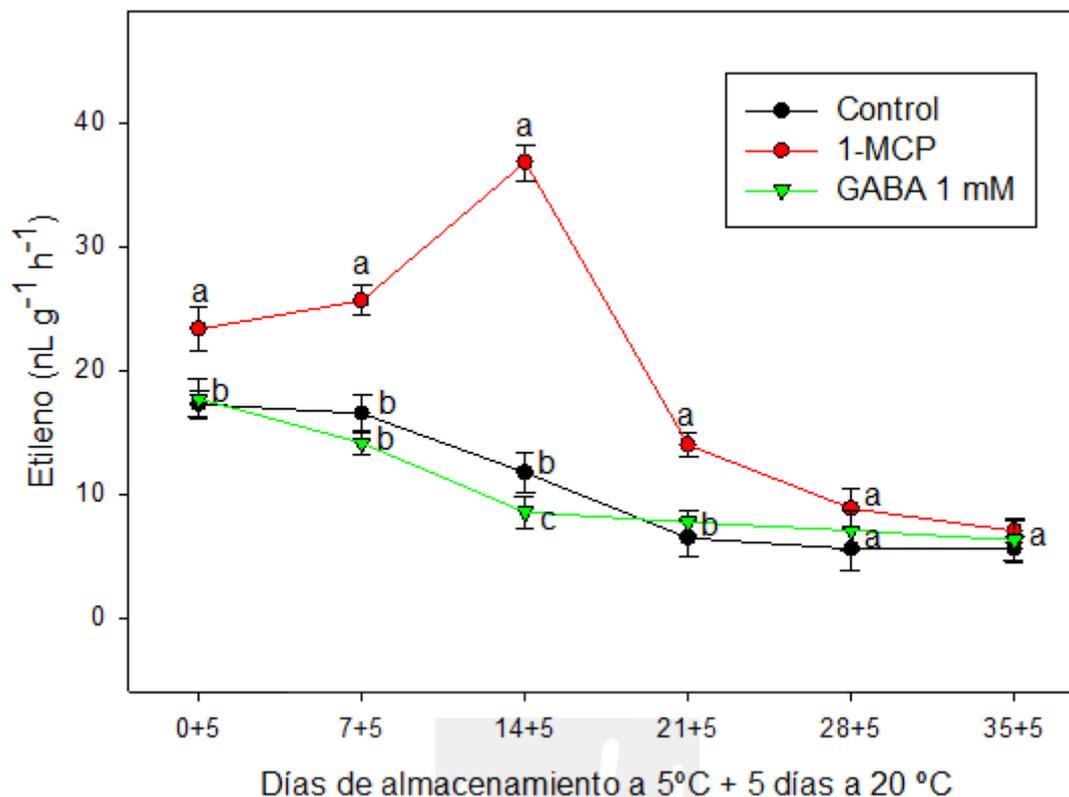


Figura 3. Evolución de la producción de etileno ($\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5°C más 5 días a 20°C . Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

A nivel molecular, bioquímico y fisiológico, el etileno desempeña un papel crucial en el proceso de maduración y senescencia del aguacate (Balaguera-López et al., 2014). El aguacate presenta un fuerte aumento en la producción de etileno después de su cosecha y durante la maduración (Herrera-González et al., 2017). Se ha establecido que esta hormona desempeña un papel crucial en la generación de transformaciones en el color, aroma, textura, sabor y otros cambios bioquímicos asociados con la maduración del fruto (Giovannoni, 2001). Pese a que tanto el 1-MCP retrasaron aspectos tan importantes como las pérdidas de peso anteriormente comentadas, incrementaron la producción de etileno. Este efecto se ha observado en otros estudios con aguacate y plátano (Hershkovitz et al., 2005; Golding et al., 1998) en el que se manifiesta que este mayor nivel de etileno corresponde a un retraso en la evolución del mismo durante el periodo de almacenamiento a temperatura ambiente.

4.4. COLOR

4.4.1. COLOR L^*

En el sistema de coordenadas de color utilizado, el eje vertical L^* representa la luminosidad de un color, que se define como la medida de la cantidad de luz emitida o reflejada por una superficie. Este valor varía desde 0, que corresponde a un negro absoluto, hasta 100, que representa un blanco puro. Cuando el valor L^* se acerca a 100, el color se considera más luminoso, lo que significa que la superficie emite o refleja una mayor cantidad de luz. Por el contrario, si el valor L^* se aproxima a 0, el color se percibe más oscuro, indicando que la superficie emite o refleja menos luz (Talens, 2017).

Al examinar detalladamente los resultados obtenidos en nuestro estudio (Figura 4), podemos apreciar una disminución en la luminosidad de los aguacates a medida que avanza el período de almacenamiento. Estos datos indican que los frutos tienden a volverse visualmente más oscuros con el tiempo.

Al evaluar los efectos de los tratamientos aplicados, observamos que el tratamiento con GABA no mostró diferencias significativas en términos de luminosidad en comparación con los frutos control. Esto sugiere que la aplicación de GABA no tuvo un impacto sustancial en la luminosidad de los aguacates a lo largo del proceso de almacenamiento.

Sin embargo, los aguacates tratados con 1-MCP presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a luminosidad en comparación con el resto de lotes, especialmente durante la primera mitad del período de almacenamiento ya que los valores de luminosidad fueron superiores. Sin embargo, a medida que avanzaba el tiempo y los valores de luminosidad disminuían, las diferencias significativas entre el tratamiento con 1-MCP y los frutos control desaparecieron. Esto indica que el tratamiento con 1-MCP tuvo un efecto perceptible en la preservación de la luminosidad de los aguacates durante las etapas iniciales del almacenamiento.

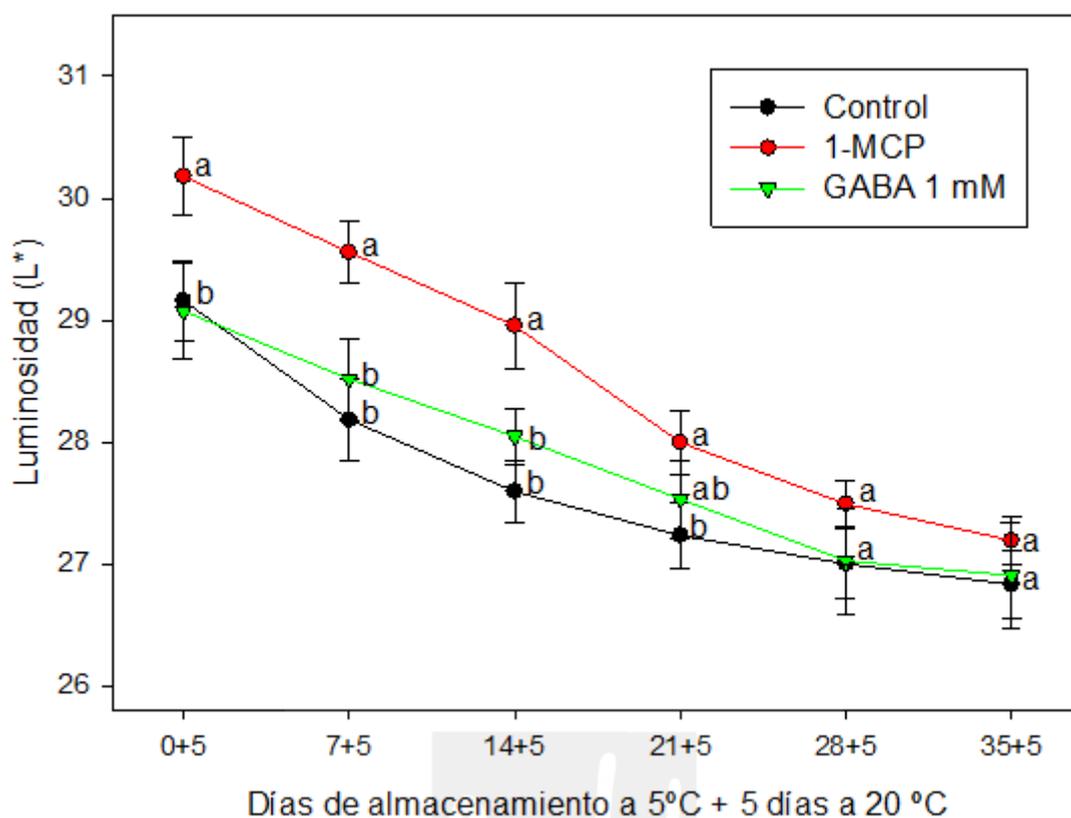


Figura 4. Evolución de la luminosidad (L^*) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

4.4.2. COLOR HUE*

El ángulo Hue^* nos va a proporcionar información sobre la variación cromática del aguacate a lo largo del transcurso temporal al establecer una relación entre el parámetro a^* y el parámetro b^* , lo cual nos permite evaluar la tonalidad del fruto.

Al llevar a cabo un análisis de la evolución cromática, se puede observar, según se muestra en la Figura 5, que el ángulo Hue^* experimenta una disminución gradual conforme aumenta el período de almacenamiento del fruto.

Al explorar el efecto de los diferentes tratamientos aplicados en relación con la variación del ángulo Hue^* , se evidencian notables diferencias significativas ($p < 0.05$). Los tratamientos con GABA y 1-MCP presentaron un ángulo Hue^* inferior al observado en los frutos control durante todo el almacenamiento. Esto sugiere que los tratamientos

influyeron de manera notable en la tonalidad del aguacate, generando un cambio cromático que se mantuvo a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos (Figura 5) mostraron que los aguacates sometidos al tratamiento con GABA y 1-MCP exhibieron los valores más reducidos en términos de tonalidad, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con los frutos control a lo largo de todo el almacenamiento. Sin embargo, a medida que avanzaba la segunda mitad del almacenamiento, los aguacates mostraron valores de tonalidad similares, reduciendo sus diferencias con respecto a los observados por los frutos control.

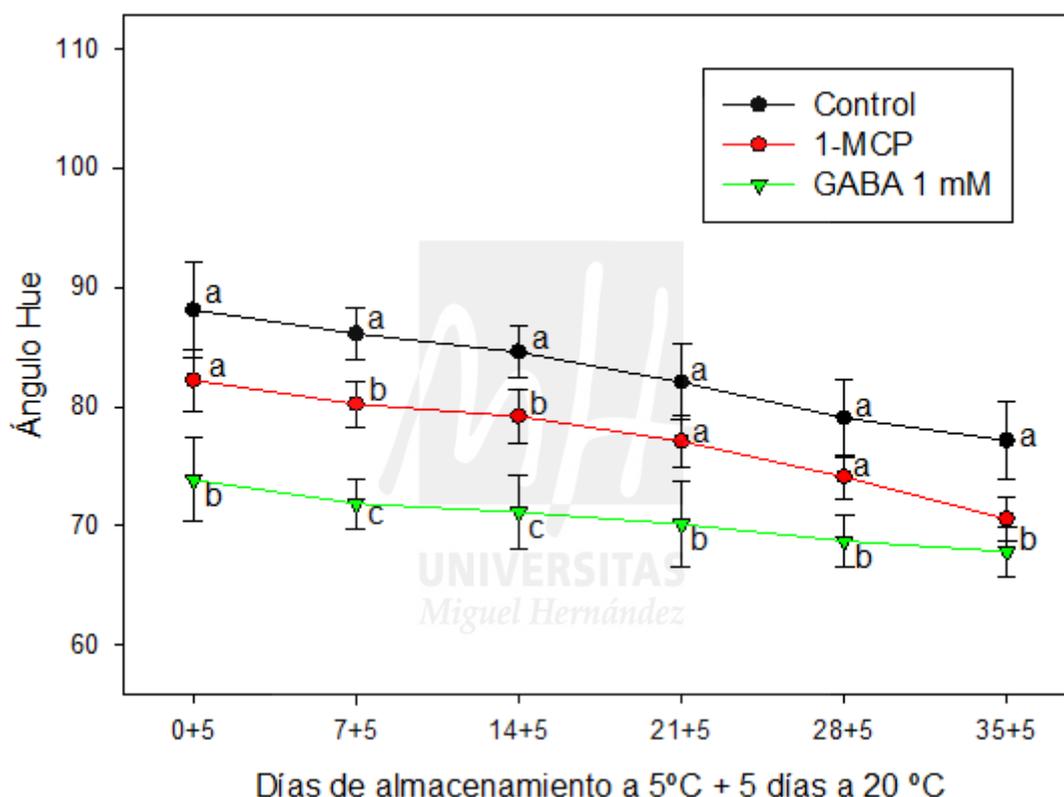


Figura 5. Evolución en el ángulo Hue* en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ello ($p < 0,05$).

En otros estudios se ha comprobado cómo el GABA es capaz de retrasar la evolución de este parámetro con respecto a los frutos control mediante un retraso de la evolución de la maduración del fruto (Rastegar et al., 2019). De igual forma, el 1-MCP ha demostrado su impacto en el retraso de la evolución del color principalmente al retraso que provoca el 1-MCP en la producción de etileno (Guillén et al., 2007; Gaikwad et al., 2020).

4.5. FIRMEZA

Durante el proceso de maduración la firmeza del fruto disminuye y su piel tiende a separarse de la pulpa, debido al debilitamiento de la pared celular (Fariñas et al., 2021). Estas modificaciones se originan debido a la acción de enzimas como la celulasas y la poligalacturonasa, las cuales degradan la pared celular y la pectina, provocando una disminución en la unión del tejido (Bill et al., 2014). De acuerdo con Ochoa-Asencio et al. (2009), a medida que pasa el tiempo, la firmeza del aguacate disminuye, llegando a alcanzar valor próximos a 5 N cuando el fruto alcanza la madurez. Observando los resultados obtenidos, la firmeza de fruto disminuyó a medida que avanzó el almacenamiento como era de esperar.

Durante todo el periodo de almacenamiento todos los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sí (Figura 6). Los frutos tratados con 1-MCP y GABA mostraron los mayores niveles de firmeza durante todo el almacenamiento con respecto a los frutos control. Sin embargo, aquellos frutos que habían sido tratados con 1-MCP fueron los que mayor eficacia demostraron a lo largo de todo el estudio a la hora de retrasar este parámetro. Por esta razón los tratamientos con 1-MCP fueron más eficaces a la hora de retrasar la pérdida de firmeza de los aguacates.

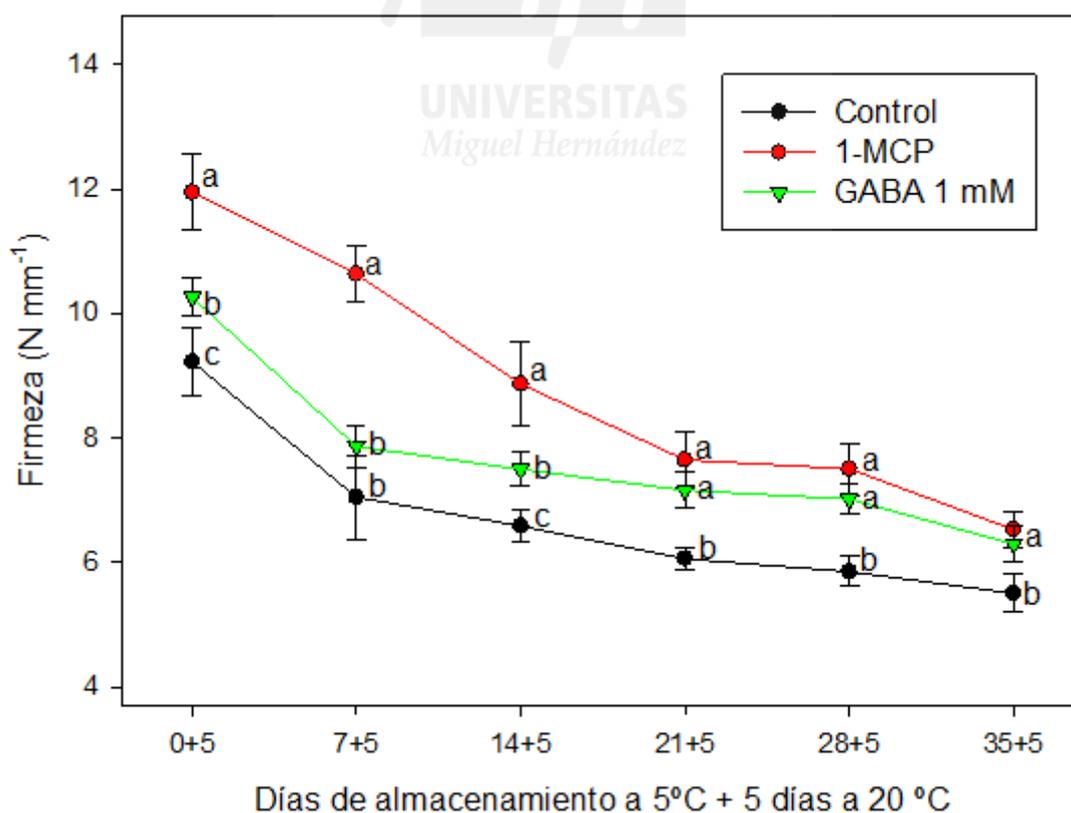


Figura 6. Evolución de la firmeza ($N\ mm^{-1}$) en los aguacates controles y tratados con GABA

y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media ± ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

La pérdida de firmeza se encuentra estrechamente vinculada con el proceso de maduración de los frutos. La conservación de la textura observada en los frutos tratados con GABA podría estar relacionada con la preservación de la integridad de las membranas celulares en los tejidos que han sido sometidos a este tratamiento. El GABA disminuye el estrés oxidativo en los tejidos, previniendo así su descomposición, y también participa en la síntesis de poliaminas que reducen la pérdida de textura en los frutos (Aghdam et al., 2019); Rastegar et al., 2019; Habibi et al., 2020). Por otro lado, en diversos estudios se ha confirmado el efecto del 1-MCP en la conservación de la textura debido a una menor activación de las enzimas responsables de la degradación de la pared celular (Guillén et al., 2007; Xu et al., 2019).

4.6. SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES

Al estudiar los resultados obtenidos (Figura 7) observamos que efectivamente se produce un aumento progresivo del contenido de sólidos solubles desde el inicio del almacenamiento. Sin embargo, desde la mitad hasta el final del almacenamiento la concentración de sólidos solubles disminuyó.

Al comparar los diferentes tratamientos aplicados, se encontraron diferencias significativas entre ellos. Los frutos tratados con 1-MCP fueron los que menor contenido de sólidos solubles presentaron en todo el periodo de almacenamiento. La mayor parte del almacenamiento no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) con los frutos control, excepto al inicio y al final del proceso. Por el contrario, los frutos tratados con GABA fueron los que mayor concentración de sólidos solubles presentaron durante todo el almacenamiento, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) con los frutos control y los tratados con 1-MCP. Desde el inicio del proceso experimentaron un aumento rápido de la concentración de sólidos solubles, alcanzando un máximo a mitad del almacenamiento, para posteriormente disminuir bruscamente hasta mostrar concentraciones similares a las de los frutos control y los tratados con 1-MCP al final del almacenamiento.

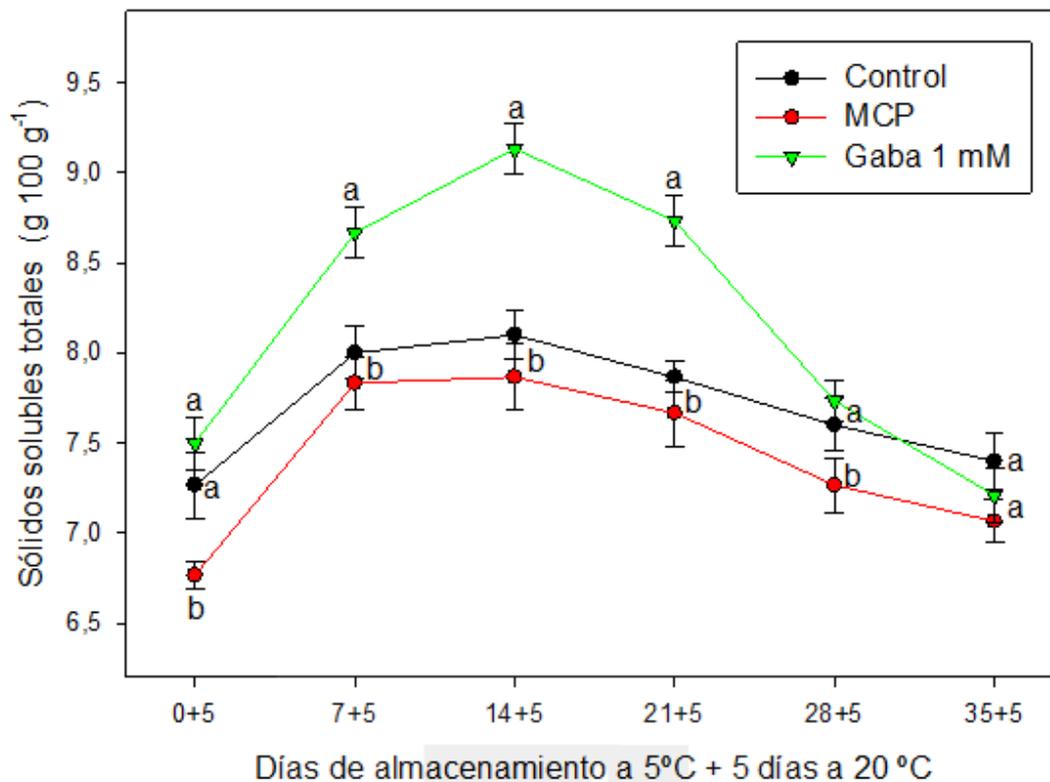


Figura 7. Evolución en los sólidos solubles totales ($g\ 100\ g^{-1}$) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

A medida que el aguacate madura, el contenido de sólidos solubles presentes en él aumenta, debido a la conversión de polisacáridos y ácidos orgánicos en azúcares o ácidos de cadena corta. Durante este proceso hay una disminución en la cantidad de agua en el fruto y un aumento en la concentración de azúcares, debido a la transpiración y respiración, ambos influenciados por el comportamiento climatérico del aguacate (Astudillo-Ordóñez y Rodríguez, 2018). Este aumento de la concentración de azúcares está relacionado con la actividad metabólica de las enzimas α y β amilasas, las cuales hidrolizan el almidón en carbohidratos más simples como disacáridos y monosacáridos durante la maduración (Márquez et al., 2014). Este aumento fue observable en todos los tratamientos, sin embargo, los niveles fueron superiores en los frutos tratados con GABA e inferiores en los tratados con 1-MCP. Mientras que el 1-MCP retrasó la evolución natural observada por los frutos control, como en tantos otros frutos estudiados incluido el aguacate (Watkins, 2006), el GABA como tratamiento poscosecha ha demostrado incrementar el estatus energético celular de tal forma que no es necesaria la movilización de los azúcares como sustrato energético, observándose una acumulación de azúcares no catabolizados (Aghdam y Fard, 2017).

4.7. ACIDEZ TITULABLE

Durante el proceso de almacenamiento y maduración de los frutos, se observa una tendencia a la disminución de la acidez titulable (Astudillo-Ordóñez y Rodríguez, 2018) Este fenómeno se atribuye al consumo de los ácidos orgánicos en los diferentes ciclos metabólicos del fruto, siendo el ácido cítrico y málico los ácidos orgánicos hidrosolubles mayoritarios en el aguacate (Hurtado-Fernández et al., 2015). Tanto los ácidos como los carbohidratos son utilizados como fuente de energía necesaria para llevar a cabo el proceso de maduración del fruto (Astudillo-Ordóñez y Rodríguez, 2018).

En nuestros propios resultados (Figura 8), pudimos apreciar esa disminución gradual de los valores de acidez a medida que transcurría el tiempo de almacenamiento. Al comparar los tratamientos aplicados se encontró que tanto el tratamiento con GABA como el tratamiento con 1-MCP, mostraron valores de acidez similares y además, más altos en comparación con los frutos control a lo largo de todo el proceso de almacenamiento. En este sentido, a lo largo del almacenamiento estos dos tratamientos llegaron a diferenciarse significativamente ($p > 0.05$) con respecto a los frutos control, mostrando tanto el 1-MCP como el GABA, un importante efecto retrasando este parámetro.

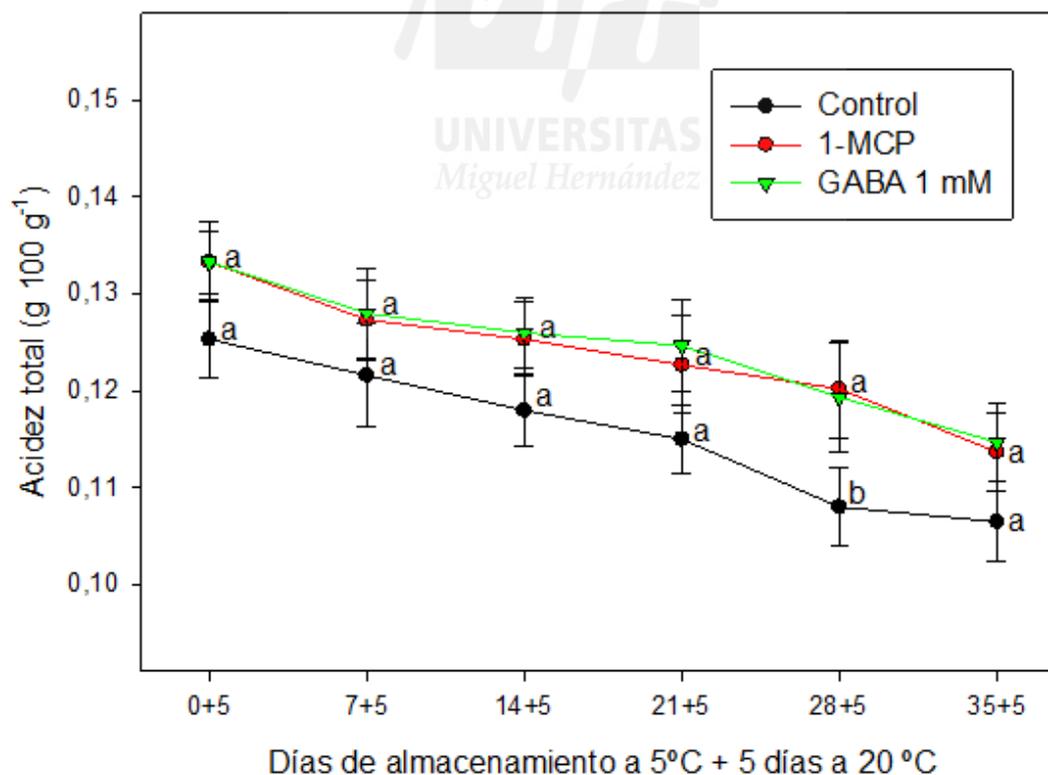


Figura 8. Evolución de la acidez ($g\ 100\ g^{-1}$) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media \pm ES de

tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Es importante destacar que los ácidos orgánicos actúan como sustratos para las reacciones enzimáticas involucradas en el proceso de respiración. En consecuencia, se espera que la acidez disminuya y en consecuencia los valores de pH aumenten a medida que los ácidos son consumidos a través de dichas reacciones metabólicas (Yaman y Bayoindirli, 2002). Sin embargo, tanto el 1-MCP como el GABA son capaces de reducir el catabolismo de estos compuestos mediante un retraso en la maduración de los frutos (Watkins, 2006), y por la reducción de las demandas energéticas en los frutos tratados con GABA (Aghdam y Fard, 2017) por lo que los niveles observados fueron mayores con respecto a los frutos control.

4.8. ANTOCIANOS TOTALES

Los antocianos son pigmentos vegetales responsables de una amplia gama de colores en frutas y flores. A medida que los aguacates maduran, experimentan una transformación visual notable en su piel, pasando de un tono verde característico a una tonalidad morada/negra. Este cambio de color es debido a la degradación de las clorofilas y la síntesis de pigmentos de antocianinas (Cox et al., 2004).

Cox (2004) en su estudio indica que es la cianidina 3-O-glucósido la principal responsable en la concentración de antocianinas totales, pero también destacó la presencia de cianidina 3-O-galactósido. A medida que los aguacates maduran, se produce una mayor síntesis de antocianinas, lo que resulta en un aumento en la concentración total de estas sustancias en la piel del fruto.

En nuestro estudio (Figura 9) observamos que aproximadamente a la mitad del período de almacenamiento se produjo un aumento significativo en la concentración de antocianos en los frutos analizados, pero este aumento fue disminuyendo gradualmente a medida que se acercaba el final del proceso de conservación. Sin embargo, fueron los frutos tratados con 1-MCP y con GABA los que mayores niveles de antocianos mostraron con respecto a los frutos control.

Estas diferencias significativas ($p < 0.05$) se mantuvieron, aunque la concentración de antocianos disminuyó hacia el final del almacenamiento.

Sin embargo, a lo largo de todo el período de almacenamiento, tanto los frutos tratados con GABA como los tratados con 1-MCP, mostraron resultados muy similares en cuanto a la presencia y concentración de antocianos.

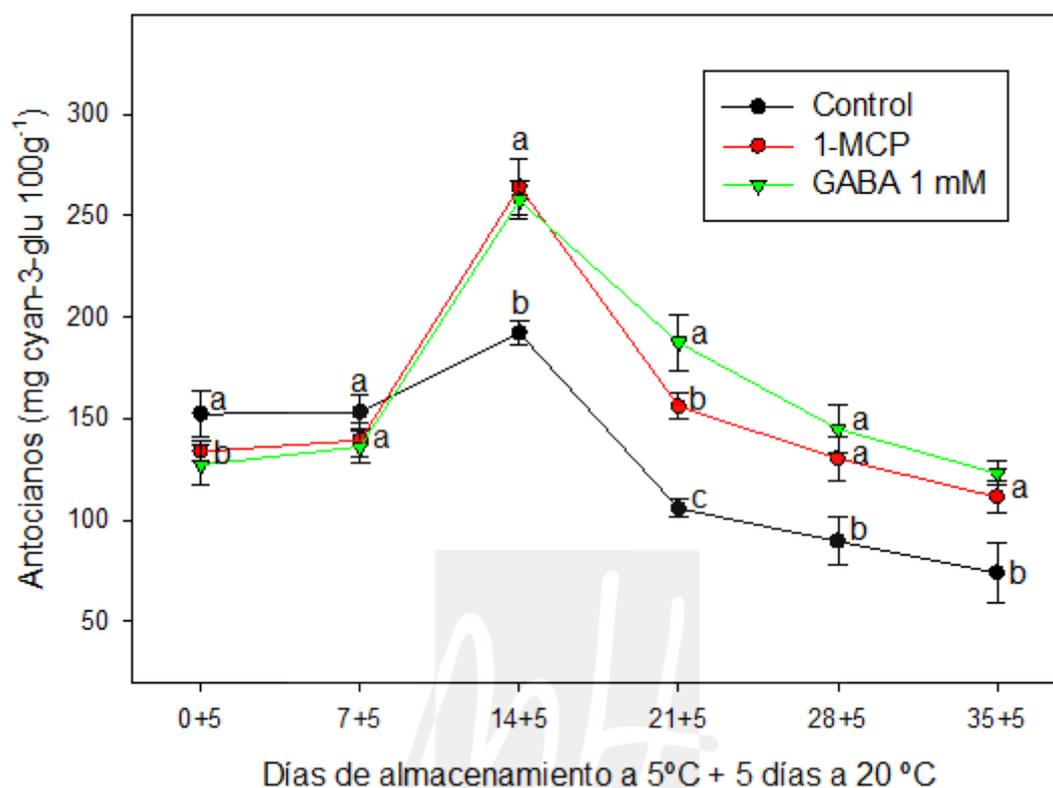


Figura 9. Evolución de los antocianos (mg cyan-3-glu 100 g⁻¹) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media ± ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Habibi et al., (2020), observaron un incremento en el contenido de antocianos tras las aplicaciones de GABA. De esta forma, el GABA sería capaz de incrementar este contenido como respuesta al estrés de las bajas temperaturas. Por otro lado, el 1-MCP mediante un mayor mantenimiento de la estructura celular estaría evitando el pardeamiento enzimático provocado por la ruptura celular, que finaliza en la oxidación de estos compuestos coloreados (Watkins, 2006; Valero y Serrano, 2010).

4.9. FUGA DE ELECTROLITOS

El efecto de las temperaturas de refrigeración se manifiesta de forma inmediata en la estructura y composición de las membranas vegetales, generando cambios significativos.

Estas temperaturas provocan un aumento en la viscosidad de la matriz lipídica, afectando a la rigidez de las membranas, las cuales adquieren una estructura gel-cristalina. Los cambios en la temperatura del entorno también afectan en el funcionamiento de las enzimas y transportadores presentes en la matriz, así como los intercambios que ocurren a través de ellas. Esto altera la permeabilidad de las membranas y altera las funciones celulares, pudiendo llegar incluso a la ruptura de las membranas, la necrosis y la muerte de los órganos o de la planta (Artés y Artés-Hernández, 2003).

El empleo de temperaturas inferiores a 6 °C puede ocasionar estos daños en las membranas celulares, lo que provoca la fuga de electrolitos y un desequilibrio iónico. Estos cambios en las membranas celulares provocan la liberación de sustratos y enzimas, como la PPO, que provoca el oscurecimiento del aguacate. La reacción de oscurecimiento se cataliza mediante la oxidación de o-difenoles a quinonas, que posteriormente son irreversiblemente oxidadas, formando pigmentos de melanina que dan al fruto de aguacate la apariencia oscura (López-Mata et al., 2013). De esta forma, el aumento en la fuga de electrolitos puede utilizarse como un indicador de la estabilidad de las membranas y como una medida indirecta de la tolerancia a los cambios de temperatura (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2016).

Al analizar detalladamente los resultados obtenidos (Figura 10), podemos observar que el porcentaje de fuga de electrolitos efectivamente aumentó a medida que avanza el período de almacenamiento. Al considerar el impacto de los tratamientos aplicados en los aguacates, es evidente que ambos fueron efectivos para retrasar las pérdidas de electrolitos.

Aunque tanto el tratamiento con GABA como el tratamiento con 1-MCP, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con los frutos control a lo largo de todo el proceso de almacenamiento, los aguacates tratados con 1-MCP exhibieron valores inferiores en cuanto a porcentaje de fuga de electrolitos en todas las etapas con respecto al resto de lotes. En este sentido, los frutos tratados con GABA también fueron exitosos a la hora de controlar la fuga de electrolitos, aunque en menor medida que los tratamientos con 1-MCP.

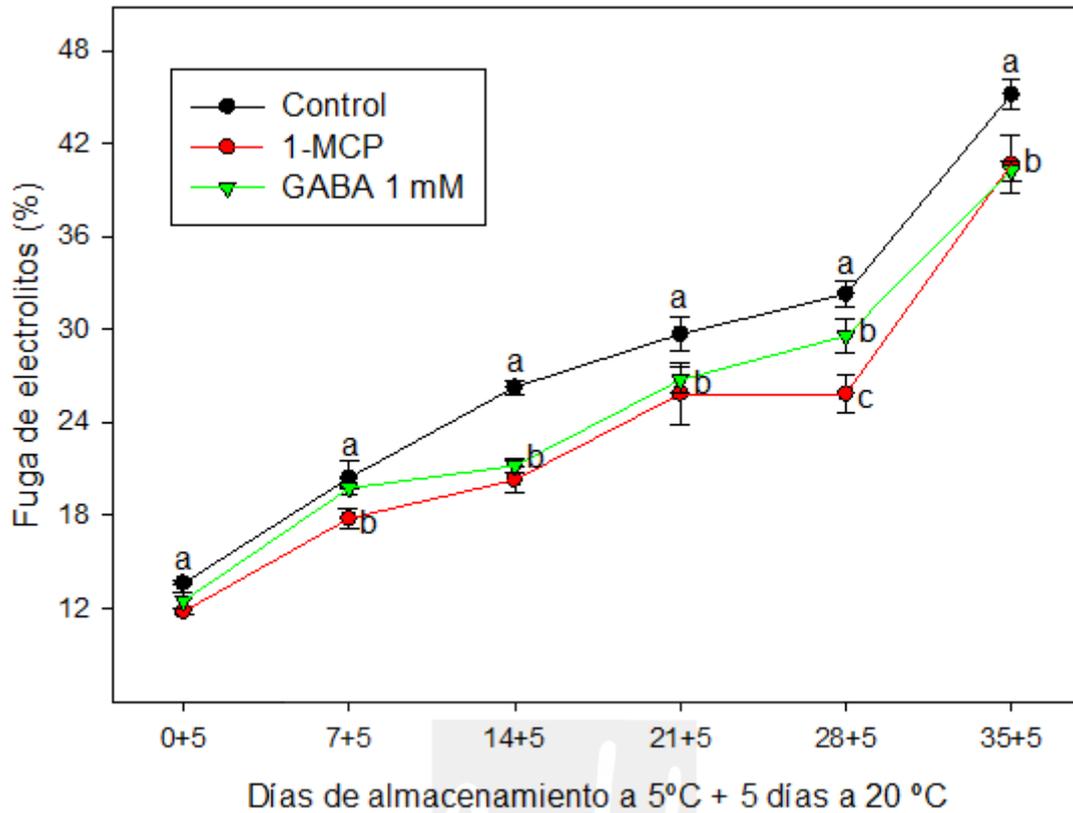


Figura 10. Evolución de la fuga de electrolitos (%) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Estos hallazgos indican que ambos tratamientos demostraron ser eficaces para reducir la fuga de electrolitos en aguacate. Sin embargo, el tratamiento con 1-MCP mostró una mayor eficacia en general al mantener los niveles más bajos a lo largo de todo el almacenamiento. Mientras que el 1-MCP estaría reduciendo la senescencia y sus efectos sobre la integridad de las membranas de los aguacates (Hershkovitz et al., 2005) y otros frutos (Watkins, 2006), el GABA estaría reduciendo el estrés oxidativo provocado por las bajas temperaturas y con ello retardando la pérdida de integridad en los tejidos vegetales (Shelp et al., 2021).

4.10. DAÑOS POR FRÍO

Muchos de los frutos procedentes de regiones tropicales y subtropicales, así como numerosos frutos de la región del mediterráneo y algunas especies adaptadas a climas templados, son susceptibles de sufrir daños ocasionados por las bajas temperaturas. Se ha

observado que las especies climatéricas, como el aguacate, son particularmente propensas a sufrir daños por frío cuando su metabolismo se encuentra en un estado muy activo, con una alta tasa de respiración (Artés y Artés-Hernández, 2003).

El almacenamiento a bajas temperaturas se utiliza con el fin de prolongar la vida útil y mantener la calidad poscosecha del aguacate. Sin embargo, si los aguacates se exponen a estas temperaturas durante períodos prolongados o se someten a temperaturas por debajo del umbral crítico, se puede ver afectada la calidad del fruto al producirse daños por frío, ya que se altera la estabilidad de las membranas celulares y se ve afectada la fase lipídica (Pachón et al., 2022; Vincent et al., 2023). Los síntomas del daño por frío pueden manifestarse tanto en el mesocarpio como en la piel del aguacate, reflejándose como decoloración del mesocarpio y picaduras en la piel, como resultado de procesos oxidativos (Vincent et al., 2023).

Al examinar los resultados obtenidos en nuestro estudio (Figura 11), se evidencia que a medida que progresa el período de almacenamiento, los efectos provocados por los daños por frío aumentan de manera considerable. Al profundizar en el análisis del impacto de los diversos tratamientos aplicados a los aguacates, se observan diferencias significativas.

Los frutos control y aquellos que fueron tratados con GABA mostraron resultados similares, sin evidenciarse diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos hasta el final del almacenamiento, en el cual estas diferencias si fueron detectadas. Asimismo, el tratamiento con 1-MCP mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con los frutos control y los tratados con GABA. Fue evidente desde el principio del experimento que el empleo del 1-MCP como tratamiento resultó eficaz a la hora de mitigar los daños por frío en los aguacates durante el periodo de almacenamiento.

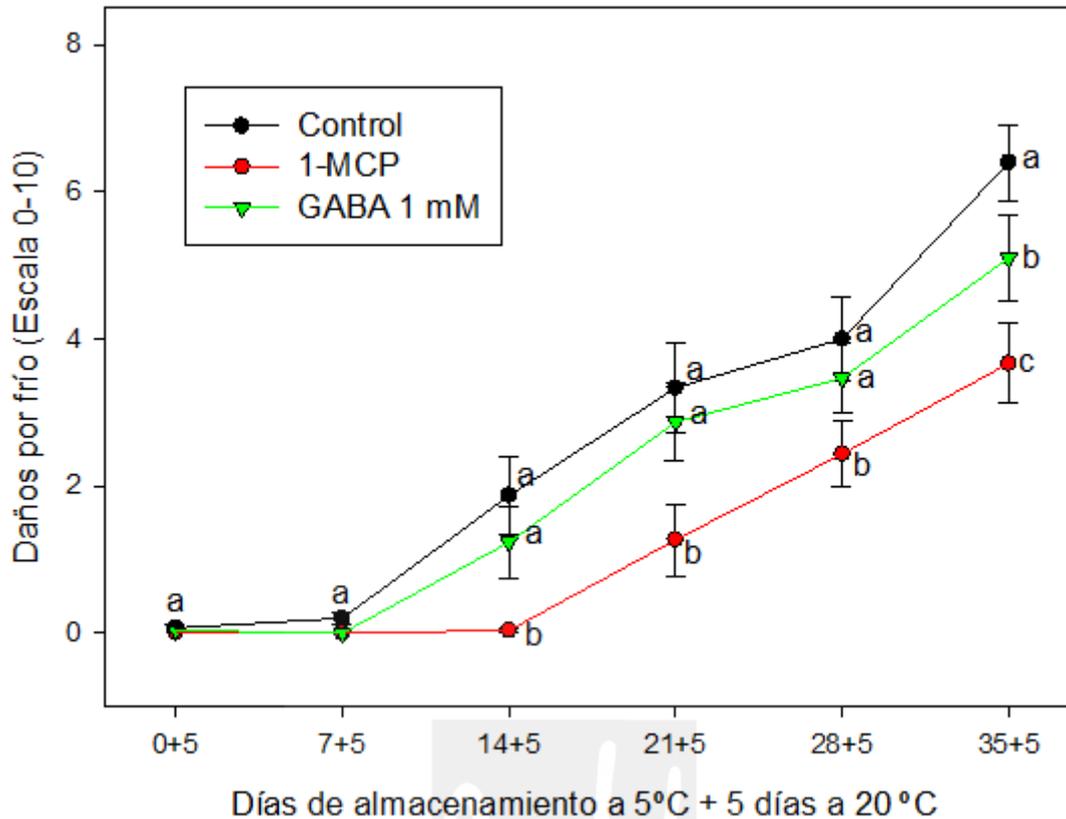


Figura 11. Evolución en los daños por frío (escala 0-10) en los aguacates controles y tratados con GABA y 1-MCP durante el almacenamiento a 5 °C más 5 días a 20 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

El 1-MCP ha demostrado su capacidad para proteger los tejidos del daño causado por el frío, principalmente al mantener la integridad de los tejidos y evitar el aumento de las reacciones oxidativas (Valero y Serrano, 2010). Por otro lado, el GABA no solo preserva la fluidez y la integridad de las membranas, sino que también aumenta los sistemas antioxidantes mediante la generación de compuestos bioactivos, como se ha observado en este estudio y se ha constatado en investigaciones anteriores (Aghdam et al., 2020; Medina-Santamarina et al., 2021).

5. CONCLUSIONES

Después de analizar los diversos parámetros de calidad poscosecha presentados en este estudio, podemos concluir que tanto los tratamientos con productos comerciales basados en sustancias de origen artificial, como el 1-metilciclopropeno, y los tratamientos con sustancias de origen natural, como el ácido γ -aminobutírico, fueron efectivos para

prolongar la calidad durante el almacenamiento. En este sentido podemos concluir que el ácido γ -aminobutírico tuvo un efecto superior en general al observado en los frutos control en la conservación de varios parámetros relacionados con la senescencia del fruto, como es la pérdida de peso, firmeza o daños por frío al tiempo que aumentó los compuestos bioactivos como en el caso de los antocianos.

Los resultados confirmaron que el ácido γ -aminobutírico tuvo un efecto de conservación similar al observado con tratamientos convencionales con 1-metilciclopropeno, tanto en el retraso de la madurez comercial como en la incidencia de la senescencia en los frutos tratados. Este efecto fue especialmente significativo a la hora de reducir los daños por frío y otros parámetros de calidad cuyo efecto fue similar con estas dos sustancias. Por lo tanto, la aplicación de tratamientos de origen natural como el ácido γ -aminobutírico podrían incrementar la vida útil y la comercialización de los aguacates al permitir su conservación a temperaturas más bajas y de forma similar al 1-metilciclopropeno que es aplicado actualmente en su conservación. Además, al ser una sustancia natural presente de forma inherente en todos los órganos de la planta, este enfoque poscosecha estaría alineado con las crecientes demandas de los consumidores que buscan productos libres de sustancias químicas de origen artificial.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aghdam, M. S. y Fard, J. R. (2017). Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria × anannasa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. *Food Chemistry*, 221, 1650–1657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.123>
- Aghdam, M. S., Jannatizadeh, A., Nojadeh, M. S. y Ebrahimzadeh, A. (2019). Exogenous melatonin ameliorates chilling injury in cut anthurium flowers during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 184–191 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.008>
- Alnasan, Z. y Yamanishi, O. K. (2018). Changes in dry matter, oil content and fatty acid of avocado during storage. *Acta Horticulturae*, 1216, 37–43. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1216.5>
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E. y Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Artés, F. y Artés-Hernández, F. (2003). Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. *Avances En Ciencias y Técnicas Del Frío*, 299–310.
- Asadollahei, M. V., Tabatabaeian, J., Yousefifard, M., Mahdavi, S. M. E. y Nekonam, M. S. (2023). Impact of elicitors on essential oil compositions and phytochemical constituents in

- Lavandula stoechas* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 194, 722–730.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.12.019>
- Asgarian, Z. S., Karimi, R., Ghabooli, M. y Maleki, M. (2022). Biochemical changes and quality characterization of cold-stored 'Sahebi' grape in response to postharvest application of GABA. *Food Chemistry*, 373. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131401>
- Astudillo-Ordóñez, C. E., y Rodríguez P. (2018). Parámetros fisicoquímicos del aguacate *Persea americana* Mill. Cv. Hass (*Lauraceae*) grown in Antioquia (Colombia) for export. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 393–402.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:694
- Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., García, J. C. y Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la postcosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302–313
- Barrientos-Priego, A. F., García-Villanueva, E. y Avitia-García, E. (1996). Anatomía del fruto de aguacate, ¿drupa o baya? *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2(2), 189–198.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1995.06.041>
- Benítez, J., Sánchez, A., Bolaños, C., Bernal, L., Ochoa-Martínez, C., Vélez, C. y Sandoval, A. (2021). Cambios fisicoquímicos del aguacate Hass durante el almacenamiento frío y la maduración acelerada. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 18–26.
<https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1490>
- Bernal-Estrada, J. A. y Díaz-Díez, C. A. (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo del aguacate. *Capítulo I Generalidades del cultivo*.
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K. y Korsten, L. (2014). Avocado Fruit Quality Management during the Postharvest Supply Chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169–202.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2014.907304>
- Bouché, N. y Fromm, H. (2004). GABA in plants: Just a metabolite? *Trends in Plant Science*, 9(3), 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.01.006>
- Canto-Pereira, M. E., Sargent, S. A., Sims, C. A., Huber, D. J., Crane, J. H. y Brecht, J. K. (2014). Ripening and sensory analysis of Guatemalan-West Indian hybrid avocado following ethylene pretreatment and/or exposure to gaseous or aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 121–127.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.008>
- Chaves-Barrantes, N. F. y Gutiérrez-Soto, M. V. (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 237. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>
- Cowan, A. K. y Wolstenholme, B. N. (2016). Avocado. En *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 294–300). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00049-0>
- Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A. y Woolf, A. B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of "Hass" avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 287–294.
- Defilippi, B. G., Ejsmentewicz, T., Covarrubias, M. P., Gudenschwager, O. y Campos-Vargas, R. (2018). Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of "Hass" avocados (*Persea americana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 128, 142–151.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.018>

- El-Moniem, E. A. A. A., Abdel-Hak, R. S., Yousef, A. R. M., Saleh, M. M. S. y El-Lethy, S. R. (2023). Storability and Fruit Properties of Hass Avocado as Affected by Moringa Seed Oil, Algae Extract and Arabic Gum Postharvest Treatments. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(1), 155–168. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2022.134816.5933>
- Escobar, J. V., Rodríguez, P., Cortes, M. y Correa, G. (2019). Influence of dry matter as a harvest index and cold storage time on cv. Hass avocado quality produced in high tropic region. *Información Tecnológica*, 30(3), 199–210. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300199>
- Fariñas, L., Sánchez-Torres, E. A., Sánchez-Jiménez, V., Diaz, R., Benedito, J. y Garcia-Perez, J. V. (2021). Assessment of avocado textural changes during ripening by using contactless air-coupled ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110266>
- Gaikwad, S. S., Sakhale, B. K. y Chavan, R. F. (2020). Effect of 1–MCP concentration, exposure time and storage temperature on post-harvest quality of mango fruit cv. Alphonso. *Food Research*, 4(3), 746–752. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).289](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).289)
- García-Pastor, M.E., Zapata, P.J., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valero, D. y Serrano, M. (2020). The effects of salicylic acid and its derivatives on increasing pomegranate fruit quality and bioactive compounds at harvest and during storage. *Frontiers in Plant Science*. 2020, 11, 668. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00668>
- Giovannoni, J. (2001). Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Biology*, 52, 725–749. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.725>
- Giuggioli, N. R., Chiaberto, G. y Da-Silva, T. M. (2021). Quality Evaluation of the Ready-to-Eat Avocado cv. Hass. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6621449>
- Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Serrano, M. y Valero, D. (2007). Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit. 1. Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 43(1), 23–27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.004>
- Golding, J. B., Shearer, D., Wyllie, S. G. y Mcglasson, W. B. (1998). Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. In *Postharvest Biology and Technology*, 14, 87-98.
- Gwanpua, S. G., Qian, Z. y East, A. R. (2018). Modelling ethylene regulated changes in ‘Hass’ avocado quality. *Postharvest Biology and Technology*, 136, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.002>
- Habibi, F., Ramezani, A., Guillén, F., Serrano, M. y Valero, D. (2020). Blood oranges maintain bioactive compounds and nutritional quality by postharvest treatments with γ -aminobutyric acid, methyl jasmonate or methyl salicylate during cold storage. *Food Chemistry*, 306, 125634. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125634>
- Herrera-González, J. A., Salazar-García, S., Martínez-Flores, H. E. y Ruiz-García, J. (2017). Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate “Méndez”. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61051194007>

- Hershkovitz, V., Saguy, S. I. y Pesis, E. (2005). Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 37(3), 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.05.003>
- Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A. y Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado fruit—*Persea americana*. En *Exotic Fruits Reference Guide* (pp. 37–48). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00001-0>
- Jeong, J., Huber, D. J. y Sargent, S. A. (2002). Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 25, 241–256. www.elsevier.com/locate/postharvbio
- Kader, A.A. 1992. Methods of gas mixing, sampling and analysis. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. A.A. Kader (ed). Oakland, Calif. (USA): University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, California, pp: 93-95.
- Kassim, A. y Workneh, T. S. (2020). Influence of postharvest treatments and storage conditions on the quality of Hass avocados. *Heliyon*, 6(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04234>
- López-Monzón, C. E., García-Vásquez, A. R. y Martínez-García, H. G. (2019). *Caracterización in situ morfológica y físico-química de aguacates nativos (Persea americana Mill.) en dos localidades de la región de Huista, Huehuetenango*.
- López-Mata, M., Ruiz-Cruz, S., Ornelas-Paz, J. y Gassos-Ortega, L. (2013). Aplicación de tratamientos térmicos a frutos de aguacate para prolongar su vida de anaquel. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 15(3), 23–28. www.biotecnia.uson.mx
- Magaña-Benítez, W., Sauri-Duch, E., Corrales-García, J. y Saucedo-Veloz, C. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(1), 21–30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81327871005>
- Mahadi-Hasan, M., Alabdallah, N. M., Alharbi, B. M., Waseem, M., Yao, G., Liu, X.-D., Abd El-Gawad, H. G., Abou El-Yazied, A., Ibrahim, M. F. M., Shah Jahan, M. y Fang, X.-W. (2021). Molecular Sciences GABA: A Key Player in Drought Stress Resistance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22. <https://doi.org/10.3390/ijm>
- Márquez, C. J., Yepes, D. P., De Alimentos, I., Sanchez, L., Quimica, I. y Osorio, J. A. (2014). Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. “Hass”) en poscosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios*, 19(1), 32–47.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. y López-Gúzman, G. G. (2017). Postcosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075–4087.
- Mazhar, M., Joyce, D., Hofman, P. y Vu, N. (2018). Factors contributing to increased bruise expression in avocado (*Persea americana* M.) cv. ‘Hass’ fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 143, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.015>
- McCollum, T. G. y McDonald, R. E. (1991). Electrolyte leakage, respiration, and ethylene production as indices of chilling injury in grapefruit. *HortScience* 26, 1191-1192 <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.9.1191>

- Medina-Santamarina, J., Zapata, P. J., Valverde, J. M., Valero, D., Serrano, M. y Guillén, F. (2021). Melatonin treatment of apricot trees leads to maintenance of fruit quality attributes during storage at chilling and non-chilling temperatures. *Agronomy*, 11, 917. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050917>
- Melado-Herreros, A., Nieto-Ortega, S., Olabarrieta, I., Gutiérrez, M., Villar, A., Zufía, J., Gorretta, N. y Roger, J. M. (2021). Postharvest ripeness assessment of 'Hass' avocado based on development of a new ripening index and Vis-NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111683>
- Melgar, B., Dias, M. I., Ciric, A., Sokovic, M., Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Barros, L. y Ferreira, I. C. R. F. (2018). Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 111, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.024>
- Mendieta, B., Olaeta, J. A., Pedreschi, R. y Undurraga, P. (2016). Reduction of cold damage during cold storage of Hass avocado by a combined use of pre-conditioning and waxing. *Scientia Horticulturae*, 200, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.012>
- Meyer, M. D. y Terry, L. A. (2010). Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. *Food Chemistry*, 121(4), 1203–1210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.005>
- Moreno-Ortega, G., Pliego, C., Sarmiento, D., Barceló, A. y Martínez-Ferri, E. (2019). Yield and fruit quality of avocado trees under different regimes of water supply in the subtropical coast of Spain. *Agricultural Water Management*, 221, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.001>
- Munhuweyi, K., Mpai, S. y Sivakumar, D. (2020). Extension of avocado fruit postharvest quality using non-chemical treatments. *Agronomy*, 10(2), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020212>
- Muy-Rangel, D., Siller-Cepeda, J., Díaz-Pérez, J. y Valdéz-Torres, B. (2022). Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad de mango. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2), 201. <https://doi.org/10.35196/rfm.2004.2.201>
- Namesny, A., Conesa, C., Hormaza, I. y Lobo, G. (2020). *Cultivo, poscosecha y procesado del aguacate*. www.bibliotecahorticultura.com
- Nyakang'i, C. O., Ebere, R., Marete, E. y Arimi, J. M. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. *Applied Food Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>
- Ochoa-Ascencio, S., Hertog, M. L. A. T. M. y Nicolai, B. M. (2009). Modelling the transient effect of 1-MCP on "Hass" avocado softening: A Mexican comparative study. *Postharvest Biology and Technology*, 51(1), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.06.002>
- Ortiz-Viedma, J., Rodriguez, A., Vega, C., Osorio, F., Defillipi, B., Ferreira, R. y Saavedra, J. (2018). Textural, flow and viscoelastic properties of Hass avocado (*Persea americana* Mill.) during ripening under refrigeration conditions. *Journal of Food Engineering*, 219, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.014>

- Ozdemir, F. y Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, 86(1), 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.012>
- Pachón, Y. V., Balaguera-López, H. E. y Florez-Velasco, N. (2022). Postharvest behavior and chilling injury in avocado (*Persea americana* Mill.) fruit cv. Hass treated with 1-methylcyclopropene, ethylene, and intermittent warming. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(2), 9895–9907. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n2.98741>
- Perato, S. M., Martínez-Zamora, M. G., Salazar, S. M. y Díaz-Ricci, J. C. (2018). The elicitor AsES stimulates ethylene synthesis, induce ripening and enhance protection against disease naturally produced in avocado fruit. *Scientia Horticulturae*, 240, 288–292. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.030>
- Pereira, M. E. C., Sargent, S. A., Sims, C. A., Huber, D. J., Crane, J. H. y Brecht, J. K. (2014). Ripening and sensory analysis of Guatemalan-West Indian hybrid avocado following ethylene pretreatment and/or exposure to gaseous or aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.008>
- Pérez-Álvarez, S., Ávila-Quezada, G. y Coto-Arbelo, O. (2015). El aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Cultivos Tropicales*, 36(2), 111–123. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193239249016>
- Rastegar, S., Khankahdani, H. H. y Rahimzadeh, M. (2019). Effect of γ -aminobutyric acid on the antioxidant system and biochemical changes of mango fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00326-x>
- Rodríguez-Pleguezuelo, C. R., Francia-Martínez, J. R., García-Tejero, I. F., Gálvez-Ruíz, B., Franco-Tarifa, D. y Durán-Zuazo, V. H. (2018). Avocado (*Persea americana* Mill.) Trends in Water-Saving Strategies and Production Potential in a Mediterranean Climate, the Study Case of SE Spain: A Review. In *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies, and Challenges for Woody Crops* (pp. 317–346). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813164-0.00014-4>
- Rodríguez-Martínez, B., Romání, A., Eibes, G., Garrote, G., Gullón, B. y del Río, P. G. (2022). Potential and prospects for utilization of avocado by-products in integrated biorefineries. *Bioresource Technology*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128034>
- Salameh, M., Nacouzi, D., Lahoud, G., Riachy, I. y El Kayal, W. (2022). Evaluation of Postharvest Maturity Indices of Commercial Avocado Varieties Grown at Various Elevations Along Lebanon's Coast. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.895964>
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E. y Álvarez-Bravo, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate “Hass” producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 277–289.
- Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E. y González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- Sánchez-Quezada, V., Gaytán-Martínez, M., Recio, I. y Loarca-Piña, G. (2023). Avocado seed by-product uses in emulsion-type ingredients with nutraceutical value: Stability, cytotoxicity, nutraceutical properties, and assessment of in vitro oral-gastric digestion. *Food Chemistry*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136118>

- Sandoval-Sandoval, J., Hernández-Gómez, M., Rodríguez-Fonseca, P. y Herrera-Arévalo, A. (2017). Evaluación de variables físico químicas de importancia en la calidad del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, producido en cuatro municipios de Colombia. *Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate*.
- Serra-Bonvehi, J., Ventura-Coll, F. y Orantes-Bermejo, J. F. (2019). Characterization of avocado honey (*Persea americana* Mill.) produced in Southern Spain. *Food Chemistry*, 287, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.068>
- Shelp, B.J., Aghdam, M.S. y Flaherty, E.J. γ -Aminobutyrate (GABA) Regulated Plant Defense: Mechanisms and Opportunities. *Plants* 2021, 10, 1939. <https://doi.org/10.3390/plants10091939>
- Shezi, S., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z. y Mditshwa, A. (2020). Biochemical changes in response to canopy position of avocado fruit (cv. 'Carmen' and 'Hass') during growth and development and relationship with maturity. *Scientia Horticulturae*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109227>
- Signorelli, S., Tarkowski, Ł. P., O'Leary, B., Tabares-da Rosa, S., Borsani, O., y Monza, J. (2021). GABA and Proline Metabolism in Response to Stress. En D. K. Gupta y F. J. Corpas (Eds.), *Hormones and Plant Response* (Vol. 2, pp. 291–314). https://doi.org/10.1007/978-3-030-77477-6_12
- Stephen, J. y Radhakrishnan, M. (2022). Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit: Nutritional value, handling and processing techniques, and health benefits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17207>
- Talens, P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*.
- Tesfaye, T., Ayele, M., Gibril, M., Ferede, E., Limeneh, D. Y. y Kong, F. (2022). Beneficiation of avocado processing industry by-product: A review on future prospect. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100253>
- Valero, D. y Serrano, M. *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*; CRC Press/Taylor y Francis: Boca Raton, FL, USA, 2010.
- Van Rooyen, Z. y Bower, J. P. (2006). Effects of storage temperature, harvest date and fruit origin on post-harvest physiology and the severity of mesocarp discoloration in 'Pinkerton' avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81, 89-98 <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512034>
- Vincent, C., Mesa, T. y Munné-Bosch, S. (2020). Hormonal interplay in the regulation of fruit ripening and cold acclimation in avocados. *Journal of Plant Physiology*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153225>
- Vincent, C., Mirabent, C. y Munné-Bosch, S. (2023). Lipid peroxidation and lipid-soluble antioxidants as quality control markers in cold-stored fruit for establishing commercial acceptability in Bacon avocados. *Food Control*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109312>
- Watkins, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables, (2006). *Biotechnology Advances*, 24, 389–409.

- Whiley, A. W., Schaffer, B. y Wolstenholme, B. N. (2002). The avocado: Botany, Production and Uses. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaumh-ebooks/detail.action?docID=292092>.
- Woolf, A. B., Requejo-Tapia, C., Cox, K. A., Jackman, R. C., Gunson, A., Arpaia, M. L. y White, A. (2005). 1-MCP reduces physiological storage disorders of "Hass" avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 35(1), 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.009>
- Xu, J., Liu, T., Yang, S., Jin, X., Qu, F., Huang, N. y Hu., X. (2019). Polyamines are involved in GABA-regulated salinity-alkalinity stress tolerance in muskmelon. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.011>
- Yahia, E. M. y Woolf, A. B. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.). En *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 125–186e). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.125>
- Yaman, Ö. y Bayoindirli, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *LWT*, 35(2), 146–150. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0827>
- Yuan, D., Wu, X., Gong, B., Huo, R., Zhao, L., Li, J., Lü, G. y Gao, H. (2023). GABA Metabolism, Transport and Their Roles and Mechanisms in the Regulation of Abiotic Stress (Hypoxia, Salt, Drought) Resistance in Plants. *Metabolites*, 13(3), 347. <https://doi.org/10.3390/metabo13030347>

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

Base de Datos Española de Composición de Alimentos, BEDCA, <https://www.bedca.net/>.
Fecha de consulta: mayo 2023

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, <https://www.fao.org/faostat/es/#home>. Fecha de consulta: mayo 2023