

Uso de radiación visible y riboflavina para conservar la calidad poscosecha de hortalizas y flores de corte

Autor: Ing. Agr. Federico Martín Pintos

Director: Dr. Lic. Luis María Rodoni

Co-director: Dr. Ing. Agr. Joaquín Héctor Hasperué

Año

2023



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA**



**Facultad de
Ciencias Agrarias
y Forestales**



**Laboratorio
de Investigación
en Productos
Agroindustriales**

AGRADECIMIENTOS

A la **Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales** de la **Universidad Nacional de La Plata** por formarme humana y académicamente. En especial a todo el equipo de la cátedra de **Agroindustrias**.

Al **Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas** y a la **Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación** por permitirme realizar la presente tesis doctoral a través de su financiamiento.

Al **Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA)** y toda su gente por recibirme y permitir el desarrollo de los primeros años del trabajo.

En especial a los **integrantes del Laboratorio de Investigaciones en Productos Agroindustriales (LIPA)** por su colaboración, buena predisposición en mejorar mi formación humana y académica: Dr. Luis María Rodoni, Dr. Joaquín Hasperué, Dr. Ariel Vicente, Dra. Laura Lemoine, Dra. Magalí Darré, Dr. Cristian Ortiz; Dr. Facundo Massolo, Ing. Agr. Juan Ignacio Gorostiague, Ing. Agr. Pablo Drobny, Ing. Agr. Eduardo Artiñano, Ing. Agr. Ramiro Taladiz.

A mi compañera de vida **Marianella Bertozzi**, por el aguante, las charlas y el amor.

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA RESENTE TESIS:

En revistas:

Pintos, F. M., Rodoni, L., Patrignani, M., Ixtaina, P., Vicente, A. R., Martínez, G., & Hasperué, J. 2023. "Advances in the use of white light on broccoli and kale postharvest shelf life". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103373>

Pintos, F. M., Nico, A., Rodoni, L., Cieza, R., & Hasperué, J. 2023. "Postharvest illumination of *Alstroemeria*: Effect of light quality on flower metabolism and shelf life". *Postharvest Biology and Technology*, 201, 112346. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112346>

Pintos, F. M., Lemoine, M. L., Grozeff, G. G., Hasperué, J., Vicente, A. R., & Rodoni, L. 2022. "Use of riboflavin to reduce decay and extend the shelf-life of fresh-cut sweet pepper". *Postharvest Biology and Technology*, 188, 111882. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111882>

Pintos, F. M., Hasperué, J., Ixtaina, P., Vicente, A. R., Lemoine, M. L., & Rodoni, L. 2021. "Short light exposure preserves broccoli head quality and nutrients during refrigerated storage". *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15801. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15801>

Pintos, F. M.; Hasperué, Joaquín H.; Vicente, A. R., & Rodoni, Luis M. 2020. "Role of white light intensity and photoperiod during retail in broccoli shelf-life". *Postharvest biology and technology*, 163 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111121>

Pintos F. M., Hasperué J., Nico, A., & Cieza, R. Octubre 2019. "Mejora de la vida poscosecha de flores de *Alstroemeria* sp. almacenadas a 6 °C bajo iluminación LED". Presentado en III Jornadas de Jóvenes Investigadores (CISaV). Facultad

de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Disponible en Revista Investigación Joven (ISSN: 2314-3991). Vol 6 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/92943>

Pintos, F. M., Hasperué, J., & Rodoni, L. 2019. “Influencia de la aplicación de diferentes intensidades de luz LED blanca en la senescencia y calidad poscosecha de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica)”. Revista electrónica Investigación Joven, (ISSN: 2314-3991). Vol 6 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94869>

En congresos:

Drobny P. N., **Pintos F. M.**, Díaz ME, Vicente, A. R., Lemoine, M. L., & Rodoni, L. M. 2022. “La riboflavina (vitamina B2) reduce el deterioro de pimientos mínimamente procesados”. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba 2022 (CICyTAC 2202) realizado en la ciudad de Córdoba los días 4, 5 y 6 de octubre. Poster.

Pintos F. M. 12 de noviembre de 2020. “Uso de radiación visible y UV generada con diodos emisores de luz (LEDs) para retrasar la senescencia y reducir las pérdidas poscosecha de hortalizas”. Encuentro de Becarios de Posgrado de la UNLP (EBEC). Modalidad virtual. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/113917>

Pintos F. M., Rodoni L. M., Ortiz C., Frezza D., Martínez G., Vicente A. R., & Hasperué J. Septiembre 2019. “Evolución de la calidad poscosecha de hojas de dos variedades de kale (morado y verde) en diferentes estados de desarrollo”. Resumen. II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Pintos, F. M., Hasperué J., Rodoni L. & Vicente A. R. Septiembre 2019. “Rol de la intensidad de luz blanca y el fotoperíodo en la calidad de brócoli mínimamente

procesada”. Resumen. II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Pintos, F. M., Hasperué J., Rodoni L., Ixtaina P., Vicente A. R. & Martínez G. Septiembre 2019. “Efecto de la aplicación de diferentes intensidades de luz LED sobre la vida poscosecha de brócoli y kale”. Resumen. II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Pintos, F. M., Hasperué, J., Lemoine, L. M., Ixtaina, P., Vicente, A. R. & Rodoni, L. 20 al 22 de noviembre de 2019. “La exposición fraccionada a la luz blanca retrasa la senescencia y conserva los nutrientes del Brócoli en refrigeración”. XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos & XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Católica Argentina. Sede Puerto Madero / Buenos Aires – Argentina. Trabajo completo. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/121728>

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se aporta información acerca de la efectividad de dos tecnologías emergentes para conservar la calidad y extender la vida útil de vegetales: i) uso de la luz visible ii) aplicación de sustancias naturales.

En la primera etapa de la tesis se evaluó la influencia de la intensidad y el tiempo de exposición a la luz blanca sobre la calidad poscosecha de brócoli mínimamente procesado durante el almacenamiento en frío. Los floretes de brócoli se almacenaron a 5 °C y se expusieron a luz de fuentes de diodos emisores de luz blanca (LED) de tres intensidades diferentes (Baja; 3,6; Media; 9,5; y Alta; 19,0 W m⁻²). En cada condición de intensidad de luz, las muestras se sometieron a cuatro ciclos luz-oscuridad (3-21 h; 6-18 h; 12-12 h o 24-0 h). Las muestras control se almacenaron en las mismas condiciones, pero en constante oscuridad. Se evaluó la pérdida de peso, color, clorofilas, azúcares totales, sacarosa, glucosa y fructosa y antioxidantes a los días 0, 11 y 19. Con respecto al retraso en el amarillamiento (pérdida del color verde), el almacenamiento refrigerado complementado con la exposición a luz de media y alta intensidad durante 3 a 12 h por día fue notablemente más efectivo que la exposición continua. Con 3 h al día de luz de intensidad media, también se redujo la deshidratación y las pérdidas de clorofila, sacarosa, glucosa y fructosa. Este tratamiento además mantuvo los niveles de ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos durante todo el almacenamiento en comparación con los controles. Estos resultados muestran que la iluminación LED blanca durante la venta minorista puede usarse para extender la vida útil del brócoli mínimamente procesado refrigerado.

En una segunda etapa de la tesis se evaluó la efectividad de tratamientos fraccionados de luz LED ($9,5 \text{ W m}^{-2}$, 3 h diarias), sobre la vida poscosecha y el contenido de nutrientes de inflorescencias de brócoli enteras. Un grupo de brócolis se almacenaron a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 93% HR por 13 y 22 días en oscuridad, mientras que otro fue sometido a las mismas condiciones excepto por la exposición a la luz. En comparación con el almacenamiento en oscuridad, con 3 h diarias de exposición a la luz se retrasó la degradación del color verde y se evitaron cambios en la luminosidad. A los 13 y 22 días, los brócolis expuestos a la luz tuvieron un 40 y 70% mayor contenido de ácido ascórbico, respectivamente, en relación a los conservados en oscuridad. En concordancia, la capacidad antioxidante fue más alta en los brócolis expuestos a la luz. Los resultados indican que la exposición fraccionada de 3 h por día a la luz blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ puede ser de utilidad para retrasar la senescencia de brócoli entero y conservar su calidad nutricional durante el almacenamiento refrigerado.

En la tercera etapa de las investigaciones se evaluó el efecto de la exposición a la luz en la calidad poscosecha de hojas de kale verde y morado almacenadas en exhibidores refrigerados, considerando las condiciones óptimas de iluminación requeridas y los beneficios obtenidos para tejidos verdes y no verdes y la disposición del producto en múltiples capas. Hojas verdes y moradas de kale dispuestas en multicapa (225 hojas m^{-2}) se mantuvieron en un exhibidor a granel refrigerado ($5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) en oscuridad (grupo control) o bajo tres condiciones de exposición a luz LED blanca fría de intensidades baja, 2; media, 7; o alta 18 W m^{-2} durante 11 días. Las hojas se mezclaron diariamente durante 30 segundos. En comparación con los restantes tratamientos, el almacenamiento de las hojas bajo luz blanca de 7 W m^{-2} favoreció notablemente la retención del color en los

tejidos del kale verde y morado. La iluminación de intensidad media no afectó el contenido de flavonoides en las hojas moradas, pero redujo significativamente la degradación de la clorofila en un 30-40% en los cultivares verdes y morados. La iluminación con luz blanca de intensidad media también evitó las pérdidas de carotenoides (~15-23%) y mejoró el nivel de antioxidantes fenólicos (~18%). Los beneficios obtenidos no se limitan a los tejidos verdes, sino que también se observan en los cultivares morados. Los resultados muestran que la exposición a luz blanca de intensidad media (7 W m^{-2}) mejora el mantenimiento de la calidad en las hojas de kale refrigeradas.

En la cuarta instancia de trabajo se evaluó el efecto de la luz en el almacenamiento de tallos florales de *Alstroemeria sp.*, y la factibilidad de implementar dicha tecnología como un complemento a la refrigeración de dicho vegetal. Se evaluó el efecto de la aplicación de luz blanca y luz roja+azul (50+50) a temperatura ambiente (20 °C) o a 5 °C, sobre la calidad y vida útil en florero de *Alstroemeria sp.* En ambas temperaturas de almacenamiento se observó un aumento en el área de los tépalos de las flores expuestas a la luz. Sin embargo, la luz propició un mayor consumo de agua por parte de los tallos florales. El color de las hojas se mantuvo con menores variaciones en los tallos tratados. Contrariamente, en los controles almacenados en oscuridad se observó un marcado amarillamiento, lo que se relacionó con la degradación acelerada de la clorofila. Las antocianinas aumentaron en las flores expuestas a la luz blanca, aunque más evidentemente en los tratamientos a 20 °C. El tratamiento con luz blanca desaceleró fuertemente la degradación de la clorofila y aumentó el contenido de azúcar en hojas y tépalos unas 3,4 y 1,8 veces, respectivamente, a 20 °C; y 6 y 2,9 veces, respectivamente, a 5 °C. Las condiciones de luz

estudiadas en el presente estudio fueron efectivas no solo para extender la vida útil de *Alstroemeria* cortada, sino también para mejorar la calidad poscosecha de los tallos florales, tanto a temperatura ambiente como en refrigeración.

Finalmente, en una quinta instancia de trabajo de la tesis se estudió el efecto de la aplicación de riboflavina en pimiento (*Capsicum annuum*) mínimamente procesado. La riboflavina es un compuesto de origen natural (vitamina B2) el cual puede ejercer un efecto antimicrobiano en plantas. Sin embargo, la utilidad de tratamientos poscosecha con riboflavina casi no ha sido evaluada. Se encontró que dentro del rango de 0-100 μM , con un nivel de riboflavina de 100 μM se logró un marcado control de las podredumbres de los frutos a 8 °C. Por lo tanto, se seleccionó dicha concentración para estudiar de forma integral el efecto de la riboflavina durante el almacenamiento a 4 °C de pimiento. En comparación con los controles, la inmersión en soluciones de riboflavina redujo la incidencia y la severidad de la podredumbre blanda y previno el aumento de la pérdida de electrolitos y el incremento de la tasa respiratoria durante el almacenamiento. Los tratamientos con riboflavina conservaron las propiedades texturales al prevenir la pérdida de dureza, rigidez y resistencia a la flexión de los tejidos. Los pimientos tratados también presentaron recuentos más bajos de levaduras y mohos y bacterias aerobias mesófilas. Finalmente, las inmersiones en riboflavina mejoraron la retención de antioxidantes y fenoles sin alteraciones en el color, pérdida de peso, azúcar o ácidos orgánicos. Los resultados muestran que la riboflavina se puede utilizar como agente conservante natural poscosecha para prolongar la vida útil de vegetales mínimamente procesados. Es de destacar que la riboflavina ejerce su efecto a concentraciones muy bajas.

La presente tesis generó avances en nuestro conocimiento sobre el efecto de la aplicación de la luz y sustancias naturales en poscosecha, con resultados de potencial impacto práctico.

INDICE

Capítulo 1	1
Introducción y objetivos generales	1
1.1. PRODUCCIÓN HORTÍCOLA ARGENTINA	2
1.2. EL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE.....	3
1.3. PROBLEMAS DURANTE EL MANEJO POSCOSECHA.....	4
1.3.1. Factores biológicos	4
1.3.1.1. Respiración, producción de etileno y daños físicos	4
1.3.1.2. Cambios composicionales, desórdenes fisiológicos y cambios morfológicos.....	6
1.3.1.3. Podredumbres	7
1.3.1.4. Deshidratación	8
1.3.2. Factores ambientales	9
1.4. PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS.....	10
1.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS	13
1.5.1. Brócoli	13
1.5.2. Kale.....	14
1.5.3. Pimiento	17
1.5.4. <i>Alstroemeria sp.</i>	20
1.6. TECNOLOGÍAS POSCOSECHA MÁS DIFUNDIDAS	21
1.6.1. Químicos sanitizantes	21
1.6.1.1. Compuestos clorados.....	21
1.6.1.2. Ácido peracético.....	23
1.6.1.3. Ozono	23
1.6.1.4. Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	23
1.6.2. Refrigeración y control de la humedad	24
1.6.3. Atmósferas controladas (AC) y modificadas (AM) y control del etileno ..	24
1.6.4. Tratamientos térmicos.....	26
1.6.5. Aplicación de compuestos de plata en flores.....	27
1.7. TECNOLOGÍAS POSCOSECHA EMERGENTES.....	27
1.7.1. Ultrasonido	27
1.7.2. Altas presiones hidrostáticas (APH)	28
1.7.3. Pulsos eléctricos	28
1.7.4. Plasma Frío.....	29

1.7.5. Recubrimientos y películas comestibles	29
1.7.6. Radiación UV	30
1.7.7. Luz visible	30
1.7.8. Aplicación de sustancias naturales	32
1.8 OBJETIVO GENERAL	34
Capítulo 2	35
Materiales y métodos	35
2.1. MATERIAL VEGETAL, ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO ..	36
2.1.1. Brócoli	36
2.1.2. Kale.....	37
2.1.3. <i>Alstroemeria spp</i>	38
2.1.4. Pimiento	38
2.2. MATERIALES, TRATAMIENTOS Y ALMACENAMIENTO	39
2.2.1. Aplicación de luz en brócoli mínimamente procesado	39
2.2.2. Aplicación de luz en brócoli entero	40
2.2.3. Aplicación de luz en kale	41
2.2.4. Aplicación de luz en flores de corte	42
2.2.4.1. Experiencia a 20 °C:.....	42
2.2.4.2. Experiencia a 5 °C:.....	42
2.2.5. Tratamientos con riboflavina	43
2.2.5.1. Selección de la concentración de riboflavina para el control de las podredumbres.....	43
2.2.5.2. Efecto del tratamiento con riboflavina seleccionado sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de pimiento verde recién cortado durante el almacenamiento refrigerado	44
2.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	45
2.3.1. Índice de deterioro del color (CDI).....	45
2.3.2. Pérdida de peso	45
2.3.3. Color	46
2.3.4. Clorofilas y carotenoides	46
2.3.5. Azúcares	46
2.3.5.1. Por cromatografía en fase líquida.....	46
2.3.5.2. Por espectrofotometría	47
2.3.6. Ácido ascórbico	48
2.3.7. Fenólicos totales	48
2.3.8. Flavonoides	49

2.3.9. Tasa respiratoria	49
2.3.10. Deterioro	50
2.3.11. Pérdida de electrolitos	51
2.3.12. Recuentos microbiológicos.....	51
2.3.13. Propiedades texturales.....	52
2.3.14. Capacidad antioxidante	52
2.3.15. Ácidos orgánicos	53
2.3.16. Consumo de agua, calibre del tallo y área del tépalo	54
2.3.17. Antocianinas totales	54
2.3.18. Análisis estadístico	55
2.3.18.1. Ensayos con brócoli mínimamente procesado	55
2.3.18.2. Ensayos con brócoli entero	55
2.3.18.3. Ensayos con hojas de kale	56
2.3.18.4. Ensayos con pimiento mínimamente procesado.....	56
2.3.18.5. Ensayos con flores de <i>Alstroemeria spp</i> :.....	56
Capítulo 3	58
Efecto de la intensidad y el tiempo de exposición a la luz sobre la calidad de brócoli mínimamente procesado	58
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS	59
3.2. INTRODUCCIÓN	60
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
3.3.1. Pérdida de peso y deterioro visual	61
3.3.2. Color	64
3.3.3. Clorofilas	66
3.3.4. Azúcares	69
3.3.5. Antioxidantes.....	72
3.4. CONCLUSIONES	75
Capítulo 4	76
Efecto de la exposición a la luz por períodos cortos sobre la calidad de brócoli entero.....	76
4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS	77
4.2. INTRODUCCIÓN	78
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
4.3.1. Color y Clorofilas (Chl)	79
4.3.2. Pérdida de peso y tasa respiratoria.	83

4.3.3. Carotenoides.....	85
4.3.4. Azúcares	86
4.3.5. Antioxidantes.....	89
4.4. CONCLUSIONES	92
Capítulo 5.....	93
Efecto de la exposición a la luz en exhibidores refrigerados sobre la calidad de hojas de kale rizado verde y morado.....	93
5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS	94
5.2. INTRODUCCIÓN	95
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
5.3.1. Efecto de la exposición de kale verde y morado a luz de diferentes intensidades sobre el nivel de pigmentos y el color.....	97
5.3.2. Efecto de la exposición a la luz de diferentes intensidades sobre el nivel de azúcares y pérdida de peso de kale verde y morado	103
5.3.3. Efecto de la exposición a la luz de diferentes intensidades sobre el nivel de fenoles y carotenoides de kale verde y morado	107
5.4. CONCLUSIONES	109
Capítulo 6.....	111
Efecto de la aplicación de luz en la calidad y la vida poscosecha de flores de <i>Alstroemeria sp.</i>	111
6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	112
6.2. INTRODUCCIÓN	113
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	114
6.3.1. Efecto de la calidad de la luz sobre la calidad poscosecha de <i>Alstroemeria sp</i> almacenada a 20 °C	114
6.3.1.1. Consumo de agua y área de tépalos	114
6.3.1.2. Color y contenido de clorofilas de las hojas.....	116
6.3.1.3. Azúcares totales, compuestos fenólicos y carotenoides	119
6.3.2. Efecto de la exposición a la luz blanca cálida durante el almacenamiento a 5 °C.....	123
6.3.2.1. Consumo de agua y área de tépalos	123
6.3.2.2. Color y contenido de clorofilas de las hojas.....	125
6.3.2.3. Azúcares totales, compuestos fenólicos y carotenoides	128
6.4. CONCLUSIONES	131
Capítulo 7.....	132
Uso de riboflavina para conservar la calidad de pimiento cortado	132
7.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	133

7.2. INTRODUCCIÓN	134
7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	136
7.3.1. Efecto de la concentración de riboflavina en el control de las podredumbres de pimiento	136
7.3.2. Efecto de la riboflavina sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de pimiento verde cortado durante el almacenamiento refrigerado.....	138
7.3.2.1. Incidencia y severidad de las podredumbres.....	138
7.3.2.2. Pérdida de peso, tasa respiratoria y pérdida de electrolitos.....	139
7.3.2.3. Recuentos microbianos	142
7.3.2.3. Textura.....	144
7.3.2.4. Color, azúcares y ácidos orgánicos.....	147
7.3.2.5. Ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante	149
7.4. CONCLUSIONES	154
8. Conclusión general	155
9. Referencias	158

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de daño físico causado por mala manipulación en durazno..	5
Figura 2: Ejemplo de desorden fisiológico “corazón acuoso en manzana”, A. Defectos morfológicos en zanahorias, B.	7
Figura 3: Ejemplo de daño por podredumbre. Moho azul y moho verde (<i>Penicillium italicum</i> y <i>P. digitatum</i>) en naranja, A. Podredumbre por <i>Rhizopus (R. stolonifer)</i> de tomate, B. Podredumbre del pedúnculo por <i>Lasiodiplodia (L. theobromae)</i> en banana, C. Moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>) en uvas, D.	8
Figura 4: Ejemplo de daño por deshidratación en arándanos.....	9
Figura 5: Principales variedades cultivadas de Brassica oleracea var. sabellica Legacy. Cultivo comercial de kale morado; A. Cultivo comercial de kale verde; B. Detalle hoja crespa y morada; C. Detalle de hoja crespa y verde; D.	16
Figura 6. Brócoli mínimamente procesado, A. Cabezas de brócoli entero, B..	36
Figura 7. Hojas de kale dispuestas en multicapa.....	37
Figura 8. Flores de <i>Alstroemeria sp.</i>	38
Figura 9. Pimiento verde <i>Capsicum annuum</i> L. cv. Margarita, A. Pimiento verde mínimamente procesado, B.	39
Figura 10. Espectro de electroluminiscencia de las fuentes de luz LED blanca fría utilizadas en los ensayos.	40
Figura 11: Espectro de electroluminiscencia de las fuentes de luz LED utilizadas en los ensayos sobre <i>Alstroemeria sp.</i>	42
Figura 12: Pérdida de peso, A, C y E. Índice de deterioro del color (IDC), B, D y F en brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, media o alta para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante el almacenamiento para 11 o 19 días a 5 °C.....	62
Figura 13: Hue°. Cosecha, A. Brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C.....	64
Figura 14: Luminosidad (L*). Cosecha, A. Brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante almacenamiento por 11 o 19 días a 5 °C..	65
Figura 15: Saturación cromática (Chroma). Cosecha, A. Brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C.....	66
Figura 16: Clorofila total en la cosecha, A. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante el almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C.....	67
Figura 17: Clorofila a. Cosecha, A. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Clorofila b. Cosecha, E. Brócoli expuesto a la luz	

blanca de intensidad baja, F, media, G o alta, H. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante el almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C.....	68
Figura 18 Brócoli mínimamente procesado expuesto a la luz LED de baja, media y alta intensidad por 3, 6, 12 o 24 h; junto al grupo control almacenado en oscuridad 24 h.	69
Figura 19: Azúcares totales. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad media o alta durante 0 (control) o 3 h por día durante el almacenamiento por 0, 11 o 19 días a 5 °C.....	70
Figura 20: Sacarosa, A; Fructosa, B y Glucosa, C. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad media o alta durante 0 (control) o 3 h por día durante el almacenamiento por 0, 11 o 19 días a 5 °C.....	71
Figura 21: Ácido ascórbico, A; Carotenoides, B y sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF), C en brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad media o alta durante 0 (control) o 3 h por día durante el almacenamiento por 0, 11 o 19 d a 4 °C.....	74
Figura 22: Angulo Hue°, A. Luminosidad (L*), B. De las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m ⁻² de luz blanca 3 h por día.....	80
Figura 23: Clorofilas totales, A. Clorofila a, B. Clorofila b, C. De cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m ⁻² de luz blanca 3 h por día.....	82
Figura 24: Contenido de carotenoides totales de cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m ⁻² de luz blanca 3 h por día.....	85
Figura 25: Contenido de azúcares totales de las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m ⁻² de luz blanca 3 h por día.....	86
Figura 26: Contenido de Glucosa, A. Fructosa, B. Sacarosa, C. De las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m ⁻² de luz blanca 3 h por día.....	88
Figura 27: Contenido de Ac. Ascórbico, A. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF), B. Antioxidantes por ABTS ^{•+} , C. De las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m ⁻² de luz blanca 3 h por día.....	90
Figura 28. Apariencia de hojas de kale control, A1; o expuestas a la luz, A2. Clorofila a, B. Clorofila b, C. Clorofilas totales, D. Hojas de kale verde almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m ⁻² a 5 °C durante 7 u 11 días.	99
Figura 29: Foto de hojas de kale grupo control, A1. Foto de hojas de kale grupo intensidad media, A2. Clorofila a, B. Clorofila b, C. Flavonoides, D. Hojas de kale morado almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m ⁻² a 5 °C durante 7 u 11 días..	101

Figura 30. Contenido de azúcares totales de kale morado, A. Contenido de azúcares totales de kale verde, B. Hojas de kale verde almacenadas en la oscuridad o expuestas a la luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m ⁻² a 5 °C durante 7 u 11 días..	104
Figura 31: Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) en kale morado, A. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) en kale verde, B. Contenido de carotenoides en hojas de kale morado, C. Contenido de carotenoides en hojas de kale verde, D. Hojas almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m ⁻² a 5 °C durante 0, 7 u 11 días..	109
Figura 32: Consumo de agua, A. Área de tépalos, B. De flores de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 7 o 14 días a 20 °C en oscuridad o expuestas a luz blanca o roja+azul..	115
Figura 33. Flores de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas por 14 días a 20 °C. Tépalos almacenados en oscuridad, A. Tépalos expuestos a luz rojo + azul, B. tépalos expuestos a luz blanca, C.	116
Figura 34. Luminosidad (L*), A. Angulo Hue°, B. Contenido de clorofilas totales, C. De hojas de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 0, 7 o 14 días a 20 °C..	117
Figura 35. Azúcares totales en hojas, A. Azúcares totales en tépalos, B. De <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 0, 7 o 14 días a 20 °C..	121
Figura 36. Varas florales de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 14 días a 20 °C Oscuridad (control), A. Rojo+azul (R + A), B. Blanco (B), C.	123
Figura 37. Consumo de agua, A. Área de tépalos, B. De hojas de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 26 o 36 días a 5 °C.....	124
Figura 38: Vista de los tépalos de flores almacenadas a 5 °C luego de 26 días.	125
Figura 39: Luminosidad (L*), A. Angulo Hue°, B. Clorofilas totales, C. De hojas de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 0, 26 o 36 días a 5 °C.	126
Figura 40. Varas florales de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas en oscuridad, A. Varas florales de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas bajo luz blanca; B. Durante 36 días a 5 °C.	127
Figura 41: Azúcares totales en hojas, A. Azúcares totales en tépalos, B. De <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas durante 0, 26 o 36 días a 5 °C..	129
Figura 42. Incidencia de podredumbre, A. Severidad, B. De tiras de pimiento dulce verde sumergidos en 0 (control), 1; 10 o 100 µM Riboflavina durante 5 min y almacenada a 8 °C durante 9 días.	137
Figura 43. Incidencia de podredumbre, A. Índice de severidad de podredumbre, B. En tiras de pimiento dulce verde tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 o 12 días a 4 °C.....	139

Figura 44. Tasa respiratoria, A. Pérdida de electrolitos, B. En tiras de pimiento verde dulce tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C.....	141
Figura 45. Levaduras y mohos, A. Recuento de bacterias aerobias mesófilas, B. En tiras de pimiento tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C..	142
Figura 46. Dureza, A. Firmeza, B. Resistencia a la flexión, C. En tiras de pimiento dulce verde tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C.....	146
Figura 47. Ácido ascórbico, A. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF), B. Capacidad antioxidante frente al radical DPPH', C. De tiras de pimiento tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C.....	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales cultivos del Cinturón Hortícola Platense.	3
Tabla 2: Ventajas y desventajas de productos mínimamente procesados.	13
Tabla 3: Pérdida de peso y tasa respiratoria durante el almacenamiento a 5 °C de cabezas de Brócoli en oscuridad o expuestas a luz de 9,5 W m ⁻² , 3 h por día.	84
Tabla 4: Cambio de color total (ΔE), luminosidad (L^*) y Hue° en hojas de kale verde almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca de intensidad baja, media o alta durante el almacenamiento a 5 °C por 7 o 11 días.....	98
Tabla 5. Cambio de color total (ΔE) y luminosidad (L^*) en hojas de kale morado almacenadas en la oscuridad o expuestas a la luz blanca de intensidad baja, media o alta durante el almacenamiento a 5 °C por 7 o 11 días.....	100
Tabla 6: Porcentaje de pérdida de peso (PP) en hojas de kale verde y morado almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca de intensidad baja, media o alta durante el almacenamiento a 5 °C por 7 o 11 d.....	107
Tabla 7. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) y carotenoides en hojas (A) o tépalos de flores (B), y antocianinas en tépalos de flores de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas a 20 °C.....	122
Tabla 8. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) y carotenoides en hojas (A) o tépalos de flores (B), y antocianinas en tépalos de flores de <i>Alstroemeria sp.</i> almacenadas a 5 °C..	131
Tabla 9. Pérdida de peso de tiras de pimiento verde tratado con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C.....	139

Tabla 10. Color (L^* , a^* , b^*), azúcares, acidez total, ácido cítrico, málico, y quínico en tiras de pimiento verde tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C..	149
--	-----

Capítulo 1

Introducción y objetivos generales

1.1. PRODUCCIÓN HORTÍCOLA ARGENTINA

La producción hortícola nacional se distribuye en diversas regiones cuyas condiciones agroecológicas tales como la temperatura, fotoperiodo, humedad relativa, precipitaciones, tipo de suelos, entre otras, permiten el cultivo de una amplia variedad de especies. La horticultura argentina tiene una gran impronta familiar en la organización de la producción y se caracteriza por presentar una alta heterogeneidad en cuanto a los actores y diversidad productiva. La actividad se lleva adelante de varias formas según su ubicación geográfica, el uso de la tierra y objetivo de la producción (**Castagnino et al., 2020**). Destacan los cordones periurbanos con cultivos bajo cubierta o a campo, las producciones extensivas con destino a la industria, la producción de semillas, las producciones orgánicas y las de autoconsumo que buscan complementar la dieta de las familias productoras.

Según **Castagnino et al. (2020)**, la superficie cultivada ronda las 600.000 ha, concentrándose gran parte de dicha superficie alrededor de los grandes centros urbanos. Anualmente el sector hortícola aporta una producción total entre 8 y 10 millones de toneladas (**Senasa, 2018**) y ocupa alrededor de 10 millones de jornales por año, lo que la transforma en una de las actividades de mayor valor social (**Galmarini, 2018**). Alrededor del 93% de la producción nacional de hortalizas se destina al mercado interno y el 7% se exporta. El 97% del valor de las hortalizas exportadas se concentra en tres cultivos: poroto, ajo y cebolla (**Idígoras, 2014**). Centrándonos en el consumo interno, el 90% de la producción nacional se consume en fresco y se comercializa en mercados mayoristas, verdulerías e hipermercados, y el restante 10% se industrializa, siendo el destino

más importante la industria de la conserva, aunque es relevante la industria del congelado y del deshidratado (**Galmarini, 2018**).

1.2. EL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE

El cinturón hortícola platense se localiza en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) sur. Constituye el área de producción de hortalizas frescas más importante del país (**Tabla 1**). La producción hortícola se realiza a campo y en gran medida bajo cubierta (invernáculo). De acuerdo a estimaciones realizadas a diciembre de 2015 por técnicos del INTA, se estima una superficie total de 7.100 hectáreas de cultivos hortícolas bajo cubierta, de las cuales 6.000 corresponden al partido de La Plata y las restantes se distribuyen entre los partidos de Berazategui y Florencio Varela (**Ferraris et al., 2018**), con una producción anual promedio de 75.000 toneladas (**MBA-UNLP, 2011**). Los cultivos principales son tomate, morrón y berenjena, como hortalizas de fruto; y lechuga, acelga y espinaca como hortalizas de hoja.

Tabla 1: Principales cultivos del Cinturón Hortícola Platense.

Cultivos de hoja	Lechugas (crespa, capuchina, criolla, manteca y morada) radicheta, rúcula, espinaca, acelga, repollos (blanco, morado, bruselas), achicoria, akusay, albahaca, berro, ciboulette o cebollín, cilandro, escarola, grelo, perejil, radicchio.
Cultivos de fruto	Tomate, pimiento, berenjena, pepino, chauchas, zapallo de tronco, zuquini, arveja, haba.
Cultivos de flor o inflorescencias	Brócoli, coliflor, alcaucil.
Cultivos de raíz y tallo	Rabanito, remolacha, ajo puerro, apio, cardo, cebolla de verdeo, echalote, espárrago, hinojo, zanahoria, nabiza y nabo.
Cultivos de legumbre	Arveja, chaucha, endibia, haba y poroto.
Cultivos florícolas ornamentales	Crisantemo, clavel, rosa, gypsophila, lisianthus, fresia, alstroemeria.

Además, La Plata es el principal productor de alcauciles del país y también se destaca con una importante producción florícola. En la región del Gran La Plata se encuentra una zona especializada en la producción de flores de corte donde tradicionalmente sobresale el cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum spp.*), clavel (*Dianthus caryophyllus*), y rosa (*Rosa spp.*) seguido luego por fresia (*Freesia spp.*), gypsophila (*Gypsophila spp.*), lisianthus (*Eustoma spp.*), lillium (*Lillium spp.*), gerbera (*Gerbera spp.*) y alstroemeria (*Alstroemeria spp.*) (Fernández, 1992). La mayoría de la producción argentina de flores tiene como destino el mercado interno (Cieza, 2018).

1.3. PROBLEMAS DURANTE EL MANEJO POSCOSECHA

Las pérdidas en la calidad y la cantidad de los productos hortofrutícolas pueden ser debidas a distintos factores que influyen sobre el material vegetal. Podrían agruparse en factores biológicos y factores ambientales que influyen en el deterioro.

1.3.1. Factores biológicos

1.3.1.1. Respiración, producción de etileno y daños físicos

Los vegetales frescos están vivos y un proceso fundamental es el de respiración. Este proceso reduce el valor energético de los productos (consume reservas energéticas, oxígeno, y libera dióxido de carbono y calor) además que, en general, la velocidad de deterioro de las frutas, hortalizas y flores es proporcional a tasa respiratoria (Kader, 2007a).



Figura 1: Ejemplo de daño físico causado por mala manipulación en durazno. Fuente INTA.

Por otro lado, es importante mencionar que el etileno (C_2H_4) actúa como fitohormona regulando el crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia, como el ablandamiento de la pulpa, la modificación del color y la producción de volátiles o aromas (**Chaves Soares y Mello-Farias, 2006**). Este compuesto simple actúa incluso en concentraciones trazas, y el umbral de etileno para los cambios fisiológicos ronda 0,1 ppm en el aire (**Wills y Warton 2004**). La producción de etileno se incrementa, en general, conforme avanza la madurez, por daños físicos, incidencia de enfermedades, el incremento de la temperatura (hasta $30^{\circ}C$) y por la pérdida de agua. Por ejemplo, la firmeza de los frutos de kiwi en almacenamiento se reduce dramáticamente si la concentración de etileno es superior a las 20 ppb (**Kader, 2007**). En estas condiciones, la respiración continua y la emisión de etileno se acompaña de pérdidas en la calidad nutricional, sensorial y una disminución de la vida poscosecha (**Ali et al., 2015; Köstekli et al., 2016**).

Tal vez el daño más común de encontrar en la manipulación de los productos es el daño físico del vegetal (**Figura 1**). Estos daños se pueden reconocer por punciones, cortaduras y rasguños profundos, agrietado y aplastado, abrasiones

y pelado de la piel, deformación (compresión) y magulladuras. Se debe prestar especial atención en la manipulación ya que, además de incrementar la producción de etileno y la respiración, ocasionan pardeamientos y podredumbres indeseables al facilitar la entrada de fitopatógenos. Dado que el etileno produce ablandamiento, aumenta la susceptibilidad a los patógenos de la fruta e inevitablemente conduce al deterioro de las frutas y verduras frescas, se recomienda que, de ser posible, los almacenes dispongan de instalaciones para eliminarlo (**Prasad y Kochhar, 2014**) o la utilización de inhibidores de su acción como el tratamiento con 1-MCP (**Gómez-Lobato et al., 2012**).

1.3.1.2. Cambios composicionales, desórdenes fisiológicos y cambios morfológicos

Los cambios composicionales pueden ser deseables o no, dependiendo el producto. Pueden influir en el desarrollo o pérdida de color por degradación de clorofilas, síntesis de pigmentos como carotenoides y antocianinas. También pueden estar representados por pérdida de proteínas, ácidos orgánicos o vitaminas, especialmente el ácido ascórbico (vitamina C) que van en detrimento de la calidad nutricional (**Yahia y Carrillo-Lopez, 2018**). Algunos ejemplos de cambios deseables podrían ser el caso de la conversión de almidón en azúcares simples en bananas (**Dhull et al., 2021**) o manzanas (**Jakab et al., 2014**), y este mismo proceso no sería deseable en otros productos como la papa (**Raigond et al., 2020**).

Otro grupo de daños son los provocados por desórdenes fisiológicos (**Figura 2A**) (**Mahanti et al., 2022**). Podemos mencionar daños que están relacionados con la temperatura de almacenamiento (congelación, daño por frío, quemado y escaldado por sol); la pérdida de textura en tomate (**Rai et al., 2022**);

podredumbre del extremo floral en tomates por deficiencias de nutrientes; quemado de los extremos de la hoja en lechuga; desintegración interna (daño por frío) en los frutos de hueso (Rodrigues *et al.*, 2022); corazón acuoso en manzana (Kishor *et al.*, 2022) (Figura 2 A) o corazón negro en papas. Las atmósferas con alto contenido de CO₂ (>20%) y bajo O₂ (<1%) pueden causar desórdenes fisiológicos en la mayoría de los productos (Kader, 2007a).

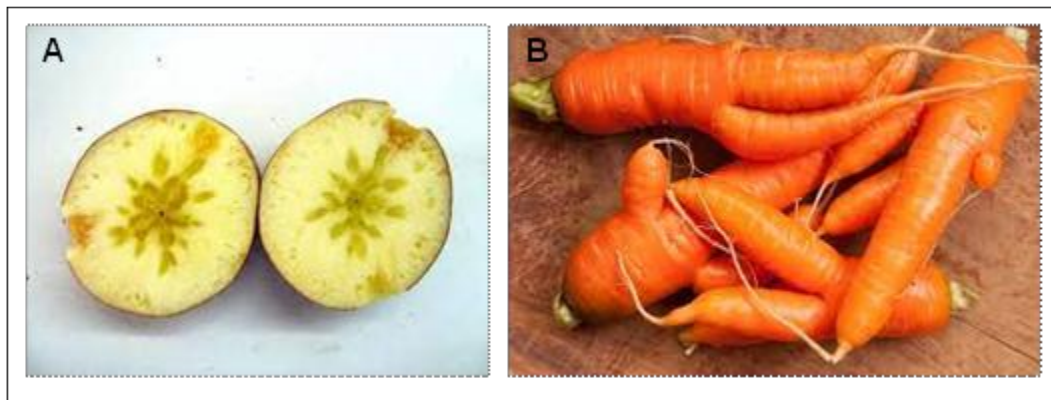


Figura 2: Ejemplo de desorden fisiológico “corazón acuoso en manzana”, A. Defectos morfológicos en zanahorias, B. Fuente INTA.

Algunos defectos son de tipo morfológicos, es decir, que el vegetal resulta indeseable para los consumidores (Bhargava y Bansal, 2021). Dentro de estos podemos reconocer el brotado en papa, cebolla y ajo; la formación de raíces en cebolla; la elongación y la curvatura del espárrago; lo que también afecta a flores cortadas (tropismos); la germinación de la semilla dentro de los frutos como en limones o pimientos; la apertura del florete en brócoli, entre otros (Figura 2 B).

1.3.1.3. Podredumbres

Las podredumbres son muy comunes en el manejo poscosecha y requieren una especial atención para reducir pérdidas. La presencia de patógenos cierra el triángulo de la enfermedad, hospedante - medio ambiente - organismo patógeno. Generalmente los organismos responsables de una gran cantidad de tipos de

podredumbres, son hongos, aunque también pueden encontrarse podredumbres provocadas por bacterias.

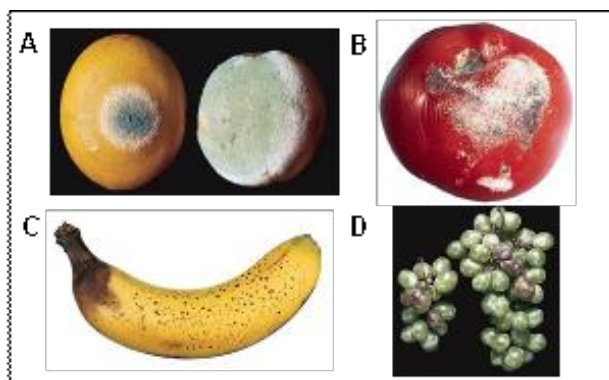


Figura 3: Ejemplo de daño por podredumbres. Moho azul y moho verde (*Penicillium italicum* y *P. digitatum*) en naranja, A. Podredumbre por *Rhizopus* (*R. stolonifer*) de tomate, B. Podredumbre del pedúnculo por *Lasiodiplodia* (*L. theobromae*) en banana, C. Moho gris (*Botrytis cinerea*) en uvas, D. Fuente; Kader 2007.

La presencia de daño mecánico en el tejido vegetal, en forma de cortaduras, rasguños o golpes, puede facilitar la entrada de un patógeno (bacterias u hongos) al producto y rápidamente puede colonizar el tejido. También existen hongos capaces de producir apresorios, que son estructuras especializadas que permiten al hongo penetrar de forma activa la cutícula y la epidermis del vegetal. Las temperaturas altas o bajas pueden alterar la fisiología del producto, aumentando su susceptibilidad a ciertos patógenos. El manejo de la temperatura de refrigeración y la humedad relativa de almacenamiento son factores clave para el control microbiano (**Mahmood et al., 2019**). Tecnologías complementarias como la refrigeración y las atmósferas modificadas, son efectivas para retrasar las podredumbres poscosecha (**Kader, 2007b**).

1.3.1.4. Deshidratación

La pérdida de agua de los productos hortofrutícolas toma una importancia relevante en el manejo, ya que no solo provoca pérdidas de peso vendible sino que además perjudica la apariencia y cambia la textura (ablandamiento,

flexibilidad, pérdida de crujencia) al modificar la presión de turgencia de las células del tejido vegetal (Chiesa, 2010). La pérdida de agua del tejido está condicionada por factores propios del vegetal como las características morfológicas, la relación superficie/volumen y posibles daños mecánicos; y factores ambientales como el movimiento de aire, presión atmosférica y la temperatura y humedad relativa de almacenamiento (Lufu *et al.*, 2020). Todos estos factores son factibles de ser ajustados para disminuir a valores razonables las pérdidas de agua.



Figura 4: Ejemplo de daño por deshidratación en arándanos. Fuente: Zoffoli (2013).

1.3.2. Factores ambientales

Si bien las pérdidas de hortalizas y frutas se generan por diferentes factores que dependen del producto y del manejo poscosecha, los principales problemas son la maduración excesiva, la deshidratación, la senescencia y las podredumbres por fitopatógenos. Aunque la baja temperatura retrasa estos procesos, muchos productos maduran y senescen rápidamente aún en refrigeración (Ahmad y Siddiqui, 2015), y los fitopatógenos continúan desarrollando a bajas temperaturas (Sardella *et al.*, 2018). Más aún, en muchos casos la refrigeración no puede aprovecharse en todo su potencial dado que muchos productos experimentan daño por frío (Bai *et al.*, 2021), acotándose así, para algunos productos, el rango de temperaturas disponibles.

Se destaca el factor temperatura; ya que por cada 10 °C de aumento de la temperatura por encima del óptimo se incrementa de 2 a 3 veces la velocidad de deterioro (**Kader, 2007b**). Este factor influye en todos aquellos mencionados en la **sección 1.3.1**. La humedad relativa afecta directamente a la pérdida de agua de los vegetales y será mayor cuando mayor sea el déficit de la presión de vapor entre el producto y el aire circundante.

La composición atmosférica es relevante, puede ser una herramienta valiosa para la conservación, pero si no está bien ajustada al producto puede acelerar el deterioro. Son importantes el producto (órgano, variedad, estado de madurez y grado de procesamiento), las concentraciones de CO₂ y O₂, el tiempo de permanencia en la atmósfera y la temperatura. Además, es importante la presencia de etileno, como se mencionó en la **sección 1.3.1.1**, puede ser una herramienta para acelerar la maduración o provocar cambios deseables de color pero también puede acelerar sensiblemente el deterioro.

Otro factor ambiental importante puede ser la presencia de luz, en algunos productos puede causar problemas y cambios indeseables como es el caso de la papa donde provoca síntesis de clorofilas y solanina (**Okamoto et al., 2022**).

Los efectos positivos de la radiación visible son tema central de la presente tesis y se desarrollarán en las sucesivas secciones.

1.4. PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS

En la presente tesis se estudiaron productos frescos tanto enteros como mínimamente procesados, por lo cual resulta importante mencionar las principales ventajas y desventajas del procesamiento mínimo. Al ser estos productos frescos y envasados, mantienen sus propiedades nutritivas, son alimentos seguros y, en algunos casos, listos para ser consumidos, mientras que

otros requieren lavado previo al consumo (**Matiacevich, 2016**). La principal desventaja del procesamiento de frutas y hortalizas es que promueve el deterioro fisiológico, los cambios bioquímicos y la degradación microbiana. Los cambios indeseables pueden ocurrir en las materias primas, a causa de los métodos de procesamiento, o incluso por factores de empaque que afecten la calidad y la vida útil del producto (**Gonzales Aguilar et al., 2010**).

Los productos hortícolas disponibles en el mercado son numerosos por lo cual para describir el grado de procesamiento de los mismos utilizaremos la siguiente clasificación:

Hortalizas frescas enteras. Incluye a las hortalizas frescas tal cual son cosechadas. También se abarcan en esta categoría los productos sometidos a un proceso de estabilización como en el caso de deshidratados, conservas en vinagre o fermentados. Si bien no existen datos precisos del mercado de productos hortícolas en Argentina, sí sabemos que los commodities frescos o de primera gama (conservas y deshidratados) se consumen en mayor cantidad, y son adquiridos en su mayoría en verdulerías, supermercados y ferias, y en algunos casos sin identificar la procedencia y por consiguiente trazabilidad de estos (**Galizio y Diaz, 2020**).

Productos en conserva. Dentro de este grupo se encuentran los productos en conserva que han sido sometidos a un tratamiento térmico de esterilización industrial para su conservación. En nuestro país se destaca la industrialización de choclo, tomate perita y arveja (**Franco, 2012**).

Productos congelados. Esta categoría comprende aquellos productos que han sido congelados para su conservación. Las especies más comúnmente

congeladas en nuestro país son la acelga, la espinaca, la arveja, el brócoli, la chaucha y el choclo (**Franco, 2013**).

Productos mínimamente procesados. Se consideran productos de cuarta gama a aquellos vegetales que, si bien han sufrido procesos de transformación respecto a los productos enteros, éstas son operaciones mínimas de procesamiento.

Las hortalizas mínimamente procesadas son vegetales frescos acondicionados para su consumo íntegro y directo (**Tabla 2**), elaborados bajo refrigeración con técnicas sostenibles y métodos físicos (despedunculado, deshojado, desvainado, desemillado, deshuesado, pelado, partido, cortado, rallado u otros), lavados, desinfectados, mantenidos refrigerados y, generalmente, envasados en una película plástica en atmósfera modificada, con las propiedades sensoriales y nutritivas del producto original, y con calidad y seguridad garantizada (**Calero, 2018**). Por lo general, los vegetales mínimamente procesados son conservados a temperaturas de refrigeración entre 1 a 5 °C y poseen una vida útil que ronda entre los 4 y 7 días, aunque dependiendo del tipo de tratamiento de envasado utilizado puede llegar a los 16 días (**Aguayo et al., 2017; Alegre Vilas et al., 2020; Muthukkannan y Kalidas, 2019**).

Productos precocidos. En este grupo se incluyen aquellos productos precocidos y listos para consumir, mantenidos en cadena de frío. En esta gama se incluyen además salsas y fritados (**Calero, 2018**).

Tabla 2: Ventajas y desventajas de productos mínimamente procesados.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">-Seguros y listos para ser consumidos.-No requieren ser lavados.-Rápidos de preparar.-Reducción del espacio durante el transporte y almacenamiento.-Calidad uniforme y constante de los productos durante el año.-Facilita un estilo de vida más saludable.	<ul style="list-style-type: none">-Aumenta la producción de etileno.-Mayor deshidratación y tasa respiratoria del tejido.-Mayor proliferación de microorganismos.-Mayor posibilidad de contaminación.-Vida de almacenamiento más corta.-Decoloración de la superficie cortada.-Reacciones enzimáticas indeseables.-Aumento en la tasa de pérdida de vitaminas.-Rápido ablandamiento.

1.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS

1.5.1. Brócoli

El brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) es una típica hortaliza de invierno. La parte comestible de la hortaliza es una inflorescencia inmadura muy apreciada por los consumidores por sus altos niveles de vitaminas, entre ellas el ácido ascórbico, antioxidantes, fibra y glucosinolatos (Wang *et al.*, 2017). La planta de brócoli es anual, de 0,60 a 1 m de altura, produce una cabeza principal (pella) compacta de 15 cm de diámetro que se forma en la parte central asentada en el tallo de la planta. El brócoli se adapta mejor a temperaturas promedio de 16 °C. El rango óptimo está entre 15 y 25 °C. También, soporta temperaturas bajas hasta de -2 °C siempre y cuando no se haya formado aún la inflorescencia. El cultivo de brócoli se adapta mejor a suelos con buen drenaje, aunque puede desarrollarse en un amplio rango de texturas de suelos (arenosos hasta arcillo limosos), es moderadamente tolerante a sales del suelo (2,8 dS m⁻¹) y muy sensible cuando se le establece en suelos arcillosos (1,6 dS m⁻¹). El brócoli se establece en el campo generalmente por trasplante. La producción de la plántula se lleva a cabo en invernadero y 30 días después de la siembra, las plántulas (de 4 ó 5 hojas verdaderas) estarán listas para ser trasplantadas de preferencia en suelo húmedo. El brócoli es un cultivo fácil de trasplantar. Las distancias entre

plantas están en un rango de 30 a 35 cm y entre hileras de 0,90 a 1,2 m. Puede establecerse a una y a doble hilera en "zig-zag" o tres bolillos. Como el sistema radical del brócoli no profundiza más de 30 cm, los riegos deberán ser ligeros y frecuentes, de tal forma que el cultivo disponga de humedad, el período de mayor requerimiento hídrico es cuando comienza a formar la inflorescencia. Para obtener la máxima calidad, las cabezas de brócoli, firmes al tacto, son cosechadas a mano cuando se están desarrollando activamente. La cabeza principal constituye lo más significativo del rendimiento total llegando a alcanzar un diámetro de 15 a 18 cm y puede pesar hasta 450 g (**Zamora, 2016**).

Luego de la cosecha, el brócoli se comercializa comúnmente en forma de cabezas enteras. Por lo tanto, sin un programa de manejo poscosecha ajustado, perderá calidad extremadamente rápido (**Rybarczyk-Plonska et al., 2014**). De hecho, el desmantelamiento de cloroplastos y el consiguiente amarillamiento de los floretes ocurrirían a temperatura ambiente dentro de dos o tres días (**Costa et al., 2006; Jin et al., 2015**). Debido a su elevada tasa respiratoria y metabólica, su potencial de almacenamiento es de solo 3-4 días a temperatura ambiente (**Ma et al., 2014**). La senescencia también comprende otros cambios indeseables, como pérdida de peso, pérdida de azúcar, degradación de antioxidantes y desarrollo de olores desagradables (**Lemoine et al., 2009; Fukasawa et al., 2010**). La refrigeración extiende la vida poscosecha del brócoli generalmente por no más de tres semanas a 5 °C. Igualmente, el brócoli pierde sus nutrientes a una tasa muy alta incluso en refrigeración (**Nath et al., 2011**).

1.5.2. Kale

El kale (*Brassica oleracea var. sabellica* Legacy) también llamado col rizado, es una especie perteneciente a la familia *Brassicaceae*. El consumo de kale es

relativamente nuevo en Argentina, pero existe un aumento en su demanda por su contenido en compuestos bioactivos con propiedades nutraceuticas (Cisneros-Zevallos, 2021). El cultivo de kale rizado (*Brassica oleracea L. var. acephala*) se remonta a miles de años atrás en Asia y el Mediterráneo (Kalloo, 1993) y ha tenido un gran avance desde sus días como producto de guarnición. Las hojas de kale se están utilizando en mezclas para ensaladas solas o procesadas en chips o batidos (Westenhiser, 2020). La creciente popularidad de estas hojas de pecíolo largo y nervadura central abundante está relacionada en parte con su valor nutricional y su relativo elevado contenido de proteínas, fibra, minerales, vitaminas y antioxidantes en relación a la mayoría de las verduras de hoja (Šamec et al., 2019).

Es una planta bianual que no forma cabeza, tiene las hojas erectas de color desde verde a azul oscuro verdoso características, muy rizadas, con bordes rugosos y ondulados, y pecíolos largos. Existen variedades mejoradas genéticamente e híbridos que dominan el mercado de esta hortaliza; las principales variedades (Figura 5) pueden agruparse según su tipo de hoja: hoja verde larga y oscura; hoja crespa y roja; hoja crespa y verde y hoja tipo roble y con nervadura roja.

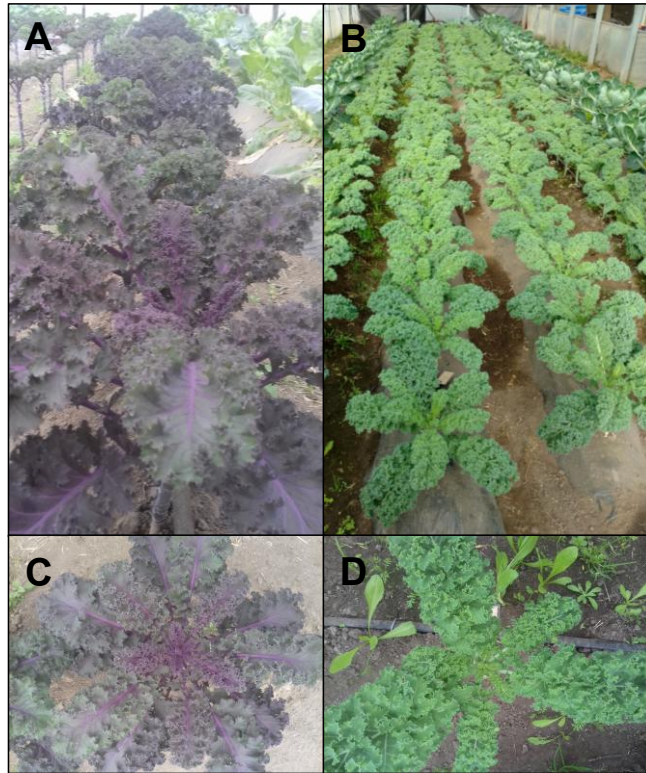


Figura 5: Principales variedades cultivadas de *Brassica oleracea* var. *sabellica* Legacy. Cultivo comercial kale morado; A. Cultivo comercial kale verde; B. Detalle hoja crespa y morada; C. Detalle de hoja crespa y verde; D.

Esta planta alcanza entre los 30 y 40 cm de altura. El kale es una de las hortalizas que se cultiva en invierno, requiere temperaturas frescas para crecer, inclusive tolera temperaturas de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero el óptimo está entre 15 y $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aunque tolera algo de falta de humedad y temperaturas mayores, estos factores afectan la calidad del producto haciéndolo más amargo y fibroso, y que además pueden favorecer la floración de la planta (**Groenbaek et al., 2016**).

Este cultivo se puede manejar de las dos maneras, siembra directa o almácigo y trasplante. En siembra directa se usan aproximadamente 4 a 5 kg ha^{-1} de semillas en hilera simple distanciando entre hileras $0,7$ a $0,75\text{ m}$ (se recomiendan poblaciones de entre 30.000 a 35.000 plantas por hectárea, con distancias entre hileras de $0,7$ a $0,75\text{ m}$, pero trasplantando aproximadamente $2,5$ plantas por metro lineal). En este sistema, la fecha de siembra debe ser más temprano para

favorecer la germinación de la semilla con mejor temperatura de suelo antes que comience el enfriamiento y el posterior desarrollo primario de plantas. En el segundo caso el trasplante se debe hacer con plántulas de al menos 10 cm de altura y con grosor de tallo no menor a 4 mm, el cubo de sustrato debe estar bien lleno de raíces y al sacar el cubo no debe desprenderse nada de sustrato o desarmarse (**Saavedra et al., 2019**).

El índice de cosecha se construye fundamentalmente teniendo en cuenta que las hojas tengan tamaño y suavidad, que no alcancen a ponerse fibrosas y duras. La cosecha se realiza inicialmente por hojas de abajo (más viejas) pero una vez que la planta alcanza su altura definitiva, se debe cosechar completa.

Las hojas de kale tienen una alta tasa de respiración e incluso con un control adecuado de la temperatura, se producirán pérdidas significativas de azúcares, clorofila y antioxidantes en unos pocos días (**Boerzhijin et al., 2020**). Se recomienda un almacenamiento a baja temperatura de 1 a 5 °C.

1.5.3. Pimiento

La producción argentina de pimiento (*Capsicum annuum* L.) se extiende desde la provincia de Jujuy hasta Río Negro. Las principales zonas productoras de pimiento para pimentón (secado) se localizan en la región de Cuyo y en el Noroeste en la provincia de Salta, mientras que las provincias más especializadas en el cultivo de pimiento para consumo en fresco, tanto al aire libre como en invernadero, son Buenos Aires, Salta y Corrientes (**Del Pino, 2016**). El Cinturón Hortícola de La Plata constituye un importante polo de producción de pimiento fresco que provee durante el período estival al AMBA, mientras que en el período invernal Corrientes es la principal proveedora.

El fruto del pimiento es una baya hueca que varía en forma, tamaño, color y sabor. El pericarpio puede ser de espesor grueso a delgado, y en el interior de este fruto se encuentran 2 o 4 tabiques incompletos a lo largo de la pared del fruto, uniéndose sólo en la base sobre la placenta. En esta región se insertan las semillas, reniformes, de 4 a 5 mm de diámetro y de color blanco amarillento.

Las variedades de pimiento pueden dividirse en dos grandes grupos. Por un lado los pimientos picantes con elevada acumulación de capsaicina (sustancia pungente que le da el “picor”). Morfológicamente suelen ser de fruto largo y delgado. El otro grupo lo conforman los pimientos dulces con baja concentración de capsaicina (**Uarrotta et al., 2021**).

Las variedades dulces son las más cultivadas en el país. Dentro de estas variedades se pueden diferenciar a su vez tres tipos de pimiento (**Balcaza, 2006**). Los pimientos tipo “blocky”, también llamados “California”, son frutos cortos (7-10 cm), anchos (6-9 cm), con tres o cuatro cascos bien marcados, con el cáliz y la base del pedúnculo por debajo o a nivel de los hombros y de pericarpio más o menos grueso. Los frutos tipo “lamuyo” son frutos largos y cuadrados de carne gruesa. Los cultivares pertenecientes a este tipo suelen ser plantas ser más vigorosas (de mayor porte y entrenudos más largos) y menos sensibles al frío que los de tipo California. Finalmente, los frutos tipo italiano son alargados, estrechos, acabados en punta, de pericarpio fino.

El pimiento dulce utilizado en los ensayos, *Capsicum annuum* L. se encuentra dentro de las variedades de pimiento más cultivadas en Argentina (para secado o consumo fresco). Es una especie perenne, cultivada como anual, originaria de América. Su cultivo se inicia desde la semilla, pudiendo realizarse la siembra directa o la elaboración de plantín y posterior trasplante. La planta es de porte

variable entre los 0,5 m (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 m (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero). Posee una raíz principal pivotante que puede llegar hasta 1,2 m provista de un gran número de raíces secundarias ramificadas. Tiene un tallo frágil, erecto con ramas que se subdividen de forma dicotómica, las hojas son lanceoladas de color verde intenso y brillante. Sus flores son de color blanco o blanco amarillentas y hermafroditas (**Goites, 2008**). Si bien la polinización es autógama puede presentarse un porcentaje de alogamia (normalmente no supera el 10%). Se trata de un cultivo de día “corto”, es decir que induce la floración luego del 21 de diciembre (hemisferio sur), que no tolera las heladas y con una temperatura óptima para el desarrollo de 21-26 °C.

El pimiento es una excelente fuente de vitamina C (1 g kg⁻¹). De hecho, el contenido de este compuesto duplica al encontrado en la naranja (**USDA, 2014**).

El color del fruto se debe al contenido y tipo de carotenoides, pudiendo ser verde en frutos inmaduros o marrón, rojo, amarillo o naranja en frutos maduros (**Madrid, 1999**). La cosecha se inicia entre los 90 y 115 días después de la siembra y se prolonga por dos o tres meses. El momento de la cosecha se suele determinar de acuerdo al tamaño y color del fruto (**Fernández Lozano et al., 1997**). La cosecha puede realizarse tanto en estado de desarrollo verde como maduro (rojo, amarillo o naranja). La cosecha se realiza a mano, en forma escalonada. El fruto debe separarse de la planta cuidando que el pedúnculo se separe en la zona de abscisión y el cáliz mantenga su integridad.

Los frutos de pimiento son no climatéricos, presentan una tasa de respiración moderada y baja producción y sensibilidad al etileno (**Cantwell, 2013**). En términos generales una adecuada conservación requiere el almacenamiento a

7-10 °C dado que a menor temperatura se favorece el daño por frío. En estas condiciones los frutos enteros pueden ser conservados por 2-3 semanas, dependiendo de la variedad considerada.

1.5.4. *Alstroemerias spp.*

El género *Alstroemeria spp.* comprende un grupo de plantas comúnmente conocidas como Lirio del Inca o Lirio del Perú (**Bridgen, 1993**). Es una planta originaria de América, cuyas especies provienen de diversos ambientes, desde las altas montañas cubiertas con nieve en los Andes de América del Sur, hasta los desiertos de la costa oeste de Chile.

El género *Alstroemeria spp.* incluye especies perennes, erectas o trepadoras, de reproducción sexual y asexual mediante rizomas. Las raíces de los rizomas varían de gruesas y tuberosas a delgadas y fibrosas, y presentan engrosamientos cilíndricos para almacenamiento que principalmente contienen almidón y son comestibles. Los tallos son rígidos y foliados, dependiendo de la especie y su ambiente, crecen de 20 cm a 120 cm o más. La planta tiene una vida que va de 3 a 5 años, dependiendo de la variedad y del clima donde se cultivan. Las flores zigomorfas, multicolores y manchadas integran inflorescencias umbeliformes de dos a doce radios, que a su vez están formadas por monocasios helicoidales de una a cinco flores, aunque existen excepciones tales como *A. pygmaea* y *A. patagonica* que presentan una única flor que no es definitivamente zigomorfa. El perigonio está formado por seis tépalos libres en la base, ubicados en dos verticilos, el androceo está conformado por seis estambres insertos en dos verticilos, las anteras son basifijas (**Sanso, 1996; Aros et al., 2019**).

El cultivo puede implantarse con un marco de plantación tipo tresbolillo (las plantas forman triángulos equiláteros), con una distancia entre plantas de 40-45 cm. La planta tiene dos períodos de floración; el primero tiene lugar desde marzo hasta junio y el segundo desde septiembre hasta octubre. La floración en el otoño, por lo general, es menor, porque crecen muchos tallos “ciegos” que no dan flores.

Después del corte (cosecha) se recomienda colocar los tallos en agua limpia, sin productos químicos. Con las varas clasificadas, se preparan paquetes de 10 a 12 tallos. La parte basal blanca se debe cortar bajo el agua para evitar embolias y mejorar la toma de agua por el tallo. La refrigeración extiende la vida poscosecha de los tallos florales.

1.6. TECNOLOGÍAS POSCOSECHA MÁS DIFUNDIDAS

Considerando lo indicado en las secciones precedentes, el manejo de los productos hortiflorícolas requiere de una integración de tecnologías de producción, de manejo poscosecha y, según el caso, de procesamiento y técnicas de comercialización. Estas etapas deben ser eficaces en cuanto a asegurar una vida útil razonable del producto, algo que es dificultoso en la mayoría de los casos.

1.6.1. Químicos sanitizantes

1.6.1.1. Compuestos clorados

Los sanitizantes tienen como función desinfectar y reducir la carga microbiana. El cloro es uno de los agentes de lavado más utilizados. Incluso se aplica a todos los productos frescos. Puede usarse en forma de gas o incluso sólido como hipoclorito de sodio (NaClO) o de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) después de mezclarlo adecuadamente en agua (**Benzoni y Hatcher, 2022**). Los productos químicos

tradicionalmente utilizados para la desinfección de vegetales son los clorados, se han reportado recomendaciones de uso en productos agrícolas a través del método de rociado o inmersión (500 a 1200 ppm) seguido de enjuague con agua potable (**USFDA, 2012**). La utilización de agua de lavado con hipoclorito de sodio en concentraciones entre 50-200 ppm de cloro es el tratamiento utilizado con mayor frecuencia en hortalizas mínimamente procesadas debido a su efecto eficaz para reducir la carga de microorganismos y su bajo costo (**Ramos et al., 2013**). El NaClO posee problemas relacionados a la generación de cloraminas por reacción con compuestos orgánicos, hecho que ha llevado a la legislación de varios países a restringir cada vez más su uso. Además, el manejo de soluciones concentradas debe hacerse con precaución. Debido a los problemas de seguridad y eficacia, el uso de cloro para la desinfección de productos frescos cortados ha sido prohibido en varios países, como los Países Bajos, Suiza, y Bélgica (**Rico et al., 2007**). El hipoclorito no está permitido tampoco en productos de cultivos orgánicos, pudiendo éstos recibir un lavado sólo con agua conteniendo los niveles de NaClO de 0,2 mg l⁻¹, normalmente encontrados en las redes de agua potable (**Argentino, 2007**). Otra desventaja relativa es que su efectividad depende del pH. La forma protonada de la molécula (HClO) es la que puede penetrar las membranas plasmáticas de los microorganismos y ejercer la acción antimicrobiana (**Henao Riveros, 2003**). Por lo tanto, es necesario un pH < 6,5 para asegurar altas concentraciones de dicha especie en el equilibrio ácido-base de la solución de desinfección. Pese a todas estas desventajas, el hipoclorito sigue siendo uno de los sanitizantes más utilizados por su elevada efectividad y bajo costo.

1.6.1.2 Ácido peracético

El ácido peracético ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) puede desinfectar frutas y verduras en lugar de productos químicos clorados (**Cuggino et al., 2023; Ho et al., 2011**). Tiene un gran poder de oxidación y es altamente desinfectante (**Dagher et al., 2017**), pudiéndose usar para el lavado o pelado de frutas y vegetales, a una concentración máxima de 80 ppm (**USFDA, 2012**). También puede actuar como esporicida y ovicida debido a su actividad desnaturalizante de proteínas (**Leggett et al., 2016**). Junto con el NaClO , son los compuestos más utilizados en la industria. De todas formas, se ha reportado que el ácido peracético puede causar daños en vegetales, causando descensos de ácido ascórbico y capacidad antioxidante (**Silveira, 2010**).

1.6.1.3. Ozono

La generación de ozono *in situ* es otro tratamiento utilizado para sanitizar agua, y es efectivo para un amplio rango de microorganismos. Sin embargo, debe prestarse especial atención a su carácter explosivo y su toxicidad. Es altamente efectivo en el rango de 500 a 2000 ppm para fines de desinfección (**Shezi et al., 2020**). El ozono se ha utilizado también para la descontaminación de alimentos (**Rodoni et al., 2010**), desinfección de equipos e incluso para tratamientos de agua. El mismo se puede utilizar de dos formas: gaseoso y líquido. El ozono gaseoso se usa en lugares donde se almacena el material, mientras que la solución acuosa se usa para sumergir directamente los productos (**Miller et al., 2014**).

1.6.1.4. Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

El peróxido de hidrógeno posee propiedades antimicrobianas, reductoras, blanqueadoras y oxidantes. Desde el punto de vista de la inactivación

microbiana, niveles de 1-5% de peróxido de hidrógeno equivaldrían a ~200 ppm de cloro (**Ukuku et al., 2012**). Se ha evaluado como agente antimicrobiano para frutas y verduras frescas (**Fallik, 1994**) o recién cortadas contra una variedad de microorganismos patógenos y de deterioro en arándanos, lechugas, espinacas, pimientos, fresas y berros (**Ali et al., 2018**). La principal ventaja de este compuesto es que no deja residuos en el vegetal, dado que se descompone en agua y oxígeno.

1.6.2. Refrigeración y control de la humedad

La refrigeración es la principal tecnología utilizada en la poscosecha. El mantenimiento de bajas temperaturas retrasa la producción y sensibilidad al etileno, reduce la tasa respiratoria (se incrementa de forma exponencial conforme aumenta la temperatura), permite retrasar el desarrollo microbiano y también reduce la actividad de enzimas involucradas en cambios bioquímicos indeseables (**Singh, 2011**). Cabe destacar que no todos los vegetales se almacenan a la misma temperatura, sino que es importante considerar los rangos óptimos de las diferentes especies vegetales, ya que algunos son sensibles a las bajas temperaturas y pueden sufrir daños por frío. En sentido amplio este desorden fisiológico se manifiesta a temperaturas superiores a los 0 °C, alrededor de los 8 °C para las especies de plantas subtropicales y alrededor de los 12 °C para las tropicales. (**Sevillano et al., 2009**).

1.6.3. Atmósferas controladas (AC) y modificadas (AM) y control del etileno

El envase que contiene un producto determinado cumple varias funciones. Contiene los productos, los protege contra el daño mecánico, protege las frutas y verduras recién cortadas contra la deshidratación y otros tipos de deterioro, comunican a los consumidores diferente tipo de información relacionada con las

propiedades, usos y marketing, y tiende a proporcionar a los consumidores productos fáciles de usar.

Las frutas y verduras frescas continúan respirando, consumiendo oxígeno y produciendo dióxido de carbono y vapor de agua una vez envasadas. Se sabe que diferentes productos pueden responder de forma beneficiosa a diferentes niveles de O₂ y CO₂ (**Corbo, 2010**). De allí surge el muy difundido uso de las AC/AM, las cuales pueden utilizarse a nivel del envase individual o en las cámaras de almacenamiento como es habitual en los frutos de pepita como manzana o pera (**Calvo et al., 2018**). La composición del aire puede alterarse en el interior de un envase mediante la respiración de los frutos (atmósfera modificada pasiva) o puede reemplazarse por otra mezcla gaseosa (atmósfera modificada activa) (**Calvo et al., 2018**). En las atmósferas modificadas pasivas se utilizan películas plásticas (bolsas de nylon) con diferentes características, dentro de las cuales se crea una atmósfera modificada como resultado de la respiración del fruto y la permeabilidad selectiva a los gases del film o envase (**Fonseca et al., 2002**). En general son atmósferas de elevada humedad relativa (90-95%, debido a que la película del envase evita la deshidratación) enriquecida en CO₂ por la actividad respiratoria del producto y con baja concentración de O₂. Estas condiciones de envasado reducen la deshidratación y el metabolismo del producto. En otros casos se suele reducir el contenido de O₂ de los envases o bolsas introduciendo una corriente de N₂, considerando que dentro de los envases los niveles de oxígeno no deberían ser inferiores a 1% para evitar que ocurran reacciones de anaerobiosis que redundan en la acumulación de acetaldehído y etanol, afectando el aroma y el sabor. La mezcla de gases a utilizar dependerá del producto y del envase utilizado (permeabilidad de películas

utilizadas). Por ejemplo, se ha informado que las atmósferas modificadas con bajo contenido de O₂ (0,25-0,50 kPa) podrían extender la vida útil del brócoli, pero pueden inducir volátiles de azufre indeseables incluso si ocurren fluctuaciones de temperatura relativamente pequeñas (**Izumi et al., 1996; Li et al., 2016**) por lo que resulta importante considerar que en todos los casos el uso de atmósferas modificadas debe ir acompañado de un buen control de la temperatura; por ejemplo algunos valores de referencia son: en manzanas 0 a 5 °C, 1-2% O₂ / 0-3% CO₂; en peras europeas 0 a 5 °C , 1-3% O₂ / 0-3% CO₂ o limón 10 a 15 °C, 5-10% O₂/ 0-10% CO₂ (**Kader, 2007**).

1.6.4. Tratamientos térmicos

Existen varios medios para aplicar calor a la fruta o verdura como la inmersión en agua caliente (**Perini et al., 2017**), breve enjuague y cepillado en agua caliente, aire caliente (**Lemoine et al., 2009**), vapor o calefacción por radiofrecuencia. Estos tratamientos se utilizan para cuarentenas, disminuir podredumbres, mejorar la resistencia de cultivares sensibles al daño por frío, de modo de mantener la calidad en el almacenamiento prolongado en frío. Por ejemplo, aire caliente en el caso de mangos, la fruta se sumerge en agua a 46 °C durante 65 y 75 minutos, respectivamente para el control de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*); luego del tratamiento los frutos son enfriados a temperatura ambiente (21 a 27 °C) (**Hernandez, et al, 2020; Rodoni et al., 2016**). El efecto de estos tratamientos depende del momento en que son expuestos los vegetales frescos o recién cortados al tratamiento y de la temperatura y tiempo del mismo. En general podemos encontrar tratamientos a temperaturas de 37 a 65 °C y de pocos segundos hasta varios días (**Fallik, 2019**). Estos tratamientos son frecuentes en frutos tropicales.

1.6.5. Aplicación de compuestos de plata en flores

La aplicación poscosecha de soluciones de compuestos de plata como el nitrato de plata (AgNO_3) y el tiosulfato de plata (STS) son estrategias ampliamente utilizadas en las soluciones de florero para aumentar la vida útil de las flores cortadas. Se han reportado beneficios sobre rosas, ranunculus, narcisos y crisantemos del uso de soluciones de nitrato de plata en concentraciones de 10 a 50 ppm (**Ketsa et al., 1993, Dogan et al., 2012, Elguimabi, 2014**) y de STS de 0,1 a 0,05 mM (**Ichimura y Goto, 2002; Hayat et al., 2012, Sedaghatthoor et al., 2020**). El ingrediente activo de STS como inhibidor de la acción del etileno es el ion Ag^{+2} . La acción del ion Ag^{+2} puede estar relacionada con el intercambio de iones cobre presentes en los receptores de etileno (**Serek et al., 2006**), en consecuencia se afectaría la señalización inducida por etileno y se disminuirían los procesos de senescencia. Se puede emplear en solución acuosa o aplicado en aspersión en plantas florecidas y ha respondido muy bien combinado con sacarosa para retrasar los efectos deletéreos del etileno (**Cubillos et al, 2001**).

1.7. TECNOLOGÍAS POSCOSECHA EMERGENTES

1.7.1. Ultrasonido

El ultrasonido comprende ondas mecánicas de vibración de una frecuencia superior a 20 kHz, inaudibles para el ser humano, y que pueden ser de dos tipos, ultrasonido de baja intensidad ($<1\text{W cm}^{-2}$), que utilizan con frecuencias entre 0,1-20 MHz, y tratamientos de ultrasonido de alta intensidad ($10\text{-}1000\text{ W cm}^{-2}$), con frecuencias $<0,1$ MHz. El tratamiento con ultrasonido de alta intensidad se ha estudiado como tratamiento antimicrobiano en el procesado de los alimentos (**Sanchez Moreno et al., 2018**). La aplicación de las ondas ultrasónicas en un medio líquido produce cambios de presión (compresión y expansión) que dan

lugar a la cavitación, fenómeno físico que consiste en la formación y ruptura de burbujas de aire microscópicas que tiene un efecto destructivo sobre las células de los microorganismos presentes en el medio sonicado (**de São José et al., 2014**).

1.7.2. Altas presiones hidrostáticas (APH)

La tecnología consiste en la aplicación de elevados niveles de presión hidrostática (100-1000 MPa) de forma continua durante tiempos relativamente cortos (de segundos a pocos minutos) en refrigeración, temperatura ambiente o combinada con tratamientos térmicos suaves (<50 °C) (**Sanchez Moreno et al., 2018**). El efecto de la APH sobre los alimentos es casi instantáneo y uniforme, además de ser independiente de la forma y tamaño del producto. El procesado por APH puede inactivar ciertas enzimas y microorganismos, incluso aquellos patógenos de alto riesgo para los consumidores, constituyendo una barrera de seguridad, y potencialmente prolongar la vida útil de los alimentos (**Georget et al., 2015**). Como desventaja podemos nombrar su elevado costo y baja capacidad de procesamiento del equipamiento requerido.

1.7.3. Pulsos eléctricos

Los pulsos eléctricos de alto voltaje (PEAV) son una tecnología no térmica para el procesado de alimentos en la cual se coloca un alimento fluido o semifluido (inmerso en un medio conductor como el agua común) entre dos electrodos por periodos cortos de tiempo (menos de un segundo, 1-10 μ s), aplicando un determinado número de pulsos de alto voltaje (20 a 80 kV cm^{-1}), produciendo una inactivación microbiológica y enzimática, manteniendo las características de color, sabor, textura y valor nutricional de los tejidos tratados, y prolongando su vida útil (**Morales de la Peña, 2011**).

1.7.4. Plasma Frío

El plasma es un gas ionizado que se genera por la aplicación de un campo eléctrico o electromagnético a un gas (aire, oxígeno, nitrógeno, argón, helio) donde los electrones colisionan con las moléculas o átomos del gas produciendo su ionización (**Sánchez-Moreno et al., 2018**). Cuando el gas utilizado es oxígeno y nitrógeno, se generan especies reactivas derivadas de estos dos gases con capacidad de inactivar una amplia gama de microorganismos en la superficie de los vegetales.

1.7.5. Recubrimientos y películas comestibles

Un recubrimiento comestible se define como el revestimiento de un producto vegetal con una o varias capas finas de material polimérico natural y comestible, mientras que la película comestible es también una capa fina (o varias) de material polimérico comestible pero que es primero preformada y después colocada sobre el alimento o entre componentes del mismo (**Valencia-Chamorro et al., 2011**). Dentro de estas estrategias de conservación podemos encontrar casos de uso de recubrimientos comestibles (**Moreira et al., 2011**) o que contienen antimicrobianos sobre frutas o verduras como por ejemplo los recubrimientos a base de quitosano. En sentido amplio el objetivo de un recubrimiento es reducir la pérdida de agua, reteniendo los componentes volátiles de la fruta y modificando las concentraciones de CO₂ y O₂ dentro de la fruta (**Baldwin, 2002**). En este sentido, un tratamiento de uso común en manzanas y cítricos es el recubrimiento con ceras (**Calvo et al. 2018**).

Estas estrategias de conservación deben ajustarse a las necesidades de cada producto y pueden combinarse o no.

1.7.6. Radiación UV

La radiación ultravioleta (UV) es una radiación no ionizante de mayor energía que la luz visible y abarca longitudes de onda de 200 a 400 nm (**Diffey, 2002**). Puede clasificarse en tres tipos, UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). La radiación UV-C tiene su máximo pico de acción germicida a 254 nm, y ha sido estudiada en distintos tejidos vegetales (**Artés y Allende, 2005**). Es interesante la respuesta de defensa de los vegetales inducida por UV-C, por ejemplo, incrementando la síntesis de compuestos fenólicos y antioxidantes en numerosos vegetales como la zanahoria (**Surjadinata et al., 2017**) o brócoli (**Lemoine et al., 2010**), así como también con UV-B (**Darré et al., 2017**). Dos factores importantes en la condición de tratamiento con radiación UV son la intensidad y la dosis de radiación aplicada (**Darré et al., 2017**).

1.7.7. Luz visible

La cantidad de luz (intensidad y fotoperiodo) y la calidad (composición espectral) afectan el crecimiento y la fisiología de las plantas e interactúan con otros parámetros ambientales y factores de cultivo para determinar el comportamiento de las plantas (**Paradiso y Proietti, 2022**). Las lámparas de descarga de alta intensidad, como las lámparas de haluro metálico y las lámparas de sodio de alta presión, se utilizan normalmente en invernaderos y cámaras de crecimiento de plantas (**Nelson y Bugbee, 2014**).

El progreso reciente en la producción de fuentes de luz ha ampliado el potencial de los tratamientos de iluminación para aplicaciones alimentarias y agrícolas (**Ilić y Fallik, 2017**). Los diodos emisores de luz (LED) son semiconductores de estado sólido y generan luz a través de la electroluminiscencia, siendo fundamentalmente diferentes de otras lámparas incandescentes o fluorescentes

utilizadas anteriormente en las plantas dado que se puede controlar su composición espectral y regular la intensidad (**Paradiso y Proietti, 2022**). Los LED generan menos calor, ahorran más energía y tienen una vida útil más larga que la tecnología de iluminación tradicional (**Bantis et al., 2018**). Además, es posible combinar LED de diferentes colores para obtener un espectro de luz personalizado y a la intensidad deseada para modular las diferentes funciones de la planta, proporcionando una herramienta útil para controlar el crecimiento de la planta y la fotomorfogénesis (**Darko et al., 2014**). Esto, junto con el hecho de que varios elementos sensibles a la luz de la planta permanecen activos después de la cosecha (**Liu et al., 2015**), ha renovado el interés en utilizar la iluminación para extender la capacidad de almacenamiento de vegetales. Cabe destacar que en los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de tratamientos no químicos y de bajo impacto ambiental para mejorar la performance poscosecha de vegetales (**Romanazzi et al., 2016**). En este sentido, la aplicación de luz de fuentes LED, surge como un método físico muy promisorio para conservar la calidad poscosecha de vegetales.

Otro tipo de tratamientos con luz utilizados sobre frutas y verduras para la inactivación microbiana consisten en la aplicación de pulsos de luz de amplio espectro y de alta intensidad. Según establece Food and Drug Administration de EE.UU (USFDA) los tratamientos no deberían exceder 12 J cm^{-2} con una emisión espectral entre 180-1100 nm, desde la región ultravioleta a la del infrarrojo cercano, y una duración del pulso no superior a 2 ms (**Sanchez moreno et al., 2018**).

1.7.8. Aplicación de sustancias naturales

En los últimos años el interés se ha volcado al uso de tratamientos poscosecha naturales y sostenibles que permitan reducir las pérdidas de frutas y hortalizas. Lo anterior incluye el uso de compuestos de origen natural que sean seguros para la alimentación humana y que sean efectivos para conservar la calidad de vegetales.

El quitosano, forma desacetilada de la quitina, es un polímero de utilización generalizada en la formulación de películas semipermeables por sus características antimicrobianas en el control de varias especies de hongos como *Alternaria alternata*, *Rhizopus stolonifer*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus flavus* y varias especies de *Penicillium* también pueden ser afectados (**Bautista-Baños et al., 2017**). Se ha relacionado la interacción electrostática entre el quitosano y el microorganismo con su actividad antimicrobiana. Dichas interacciones dan lugar a alteraciones en la estructura de la pared celular y la membrana plasmática microbianas (**Bautista-Baños et al., 2016**).

Otro grupo de sustancias naturales muy difundidas son los aceites esenciales, en referencia a su potencial acción antimicrobiana. Se ha reportado la inhibición del crecimiento de *Botrytis* sobre pimientos frescos, hongo responsable de las mayores pérdidas poscosecha de este producto (**Tzortzakis et al., 2019**). Otros compuestos o matrices con relativa efectividad incluyen aceite de hinokitiol (**Fallik, 1992**), aceite de canela (**Tzortzakis, 2009**), coproductos de almazara (**Vagelas, 2009**), bicarbonato de potasio (**Fallik, 1997**) o tratamientos con vapor de etanol (**Fukasawa et al., 2010**).

Dentro de esta línea de estrategias poscosecha resulta interesante la utilización de vitaminas para retrasar la senescencia de frutas. **Li et al. (2012)** informaron los beneficios de la aplicación exógena de riboflavina (Vitamina B2) sobre pera asiática (*Pyrus bretschneideri* cv. Zaosu) en una concentración de 1 mM. Esta aplicación inhibió eficazmente el desarrollo de la podredumbre por *Alternaria* potenciando las actividades de las enzimas relacionadas con la defensa, como la fenilalanina amonio liasa (PAL), la polifenoloxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD), y aumentó la acumulación de flavonoides, compuestos fenólicos y lignina. Más recientemente **Deng et al. (2022)** reportaron el uso de baños en soluciones de vitamina B1 (tiamina) de concentración 1 mM durante 30 min y a 25 °C, para regular la senescencia de la fruta de Azufaifo (*Ziziphus jujuba* cv. Dongzao), fruto muy popular en China. Los autores informaron que el tratamiento con vitamina B1 retrasó la senescencia de la fruta; estos resultados se condicen con los informados por **Yin, et al. (2012)**, donde utilizaron tratamientos de tiamina 100 mM para la inhibición del crecimiento de *Alternaria alternata* sobre pera asiática (*Pyrus bretschneideri* cv. Zaosu).

Un grupo novedoso de tratamientos consiste en la utilización de sustancias naturales como fotosensibilizadores, es decir la aplicación de sustancias naturales conjuntamente con la exposición a una fuente de luz con el objeto de controlar patógenos en vegetales frescos. Recientemente se reportó el efecto bactericida sobre *Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella typhimurium* mediante la aplicación de riboflavina en concentraciones de 0,005–50 µM combinada con la exposición a una fuente de luz LED azul (460-470 nm, intensidad 30 J cm⁻²) en jugos de manzana (**Kim, et al., 2022**). Además, se informó el efecto antimicrobiano sobre *E. coli* O157:H7 mediante la utilización de compuestos

como el carvacrol (0,025% p/v) o fotosensibilizadores como la riboflavina (0,0078% p/v), ambos en combinación con iluminación durante 5 días a 4 °C con luz LED azul (460-470 nm) de intensidad 0,42 mW cm⁻² sobre manzanas y 0,29 mW cm⁻² sobre tomates Cherry, ambos vegetales recién cortados (**Jeong-Eun Hyun *et al.*, 2022**).

1.8 OBJETIVO GENERAL

La presente tesis busca abordar estrategias sustentables y naturales que permitan reducir pérdidas y conservar la calidad de productos hortiflorícolas. Hay un gran interés en la búsqueda de alternativas naturales e inocuas y de bajo impacto medioambiental para reducir las pérdidas de vegetales frescos. La exposición a la luz en poscosecha surge como una posibilidad interesante para conservar la calidad y extender la vida útil de vegetales por tratarse de un tratamiento físico libre de residuos y relativamente eficiente por el uso de fuentes lumínicas LED. Por otra parte, los consumidores valoran cada vez más el uso de sustancias naturales en contraposición a los químicos de síntesis y agroquímicos convencionales. Sin embargo, las sustancias naturales disponibles que sean económicamente viables y efectivas son muy limitadas. Es por ello que el estudio de nuevos compuestos potencialmente efectivos para reducir las pérdidas de alimentos frescos resulta sumamente interesante. En esta tesis se busca aportar nueva información sobre el efecto de diferentes condiciones de exposición a la luz LED y el efecto de la aplicación de sustancias naturales sobre la vida poscosecha y calidad de hortalizas y flores.

Capítulo 2

Materiales y métodos

2.1. MATERIAL VEGETAL, ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO

2.1.1 Brócoli

Las cabezas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* cv. Legacy), producidas en La Plata, Argentina (34° 59' 39,1" S; 58° 00' 09,3" W) fueron cosechadas en la madurez comercial e inmediatamente transportadas al laboratorio. Las muestras que tenían defectos o daños físicos se descartaron y las inflorescencias seleccionadas se lavaron en agua clorinada (150 mg l⁻¹ con hipoclorito de sodio, pH 6,5) durante 2 minutos. Se cosecharon aproximadamente 60 cabezas de brócoli para cada tipo de ensayo realizado.

Para el caso de los ensayos con brócoli mínimamente procesado (**Figura 6 A**), las inflorescencias se cortaron con cuchillo afilado y se prepararon floretes con un peso aproximado de 20 g. Se enjuagaron en agua clorinada, se escurrieron y se empacaron en bandejas de tereftalato de polietileno (17 × 12 × 5 cm) cubriendo la muestra con una película de cloruro de polivinilo (PVC) perforada.

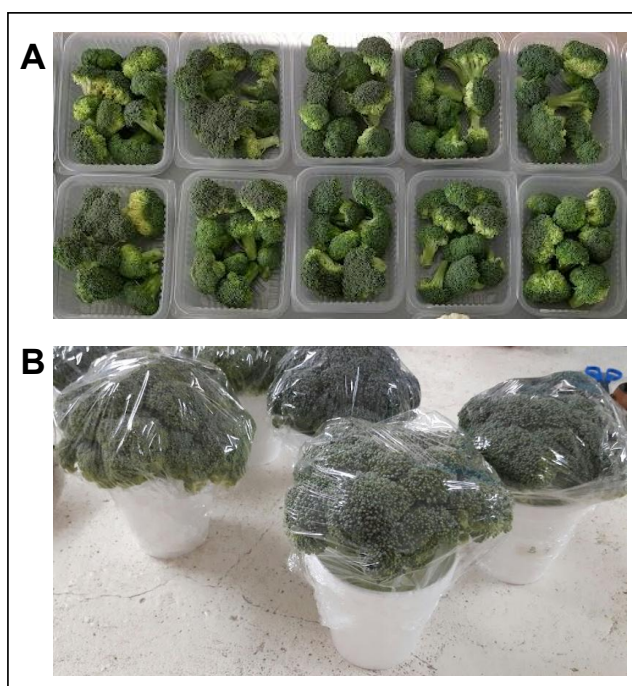


Figura 6. Brócoli mínimamente procesado, A. Cabezas de brócoli entero, B.

En los demás ensayos, para evaluar el efecto de la luz sobre las cabezas de brócoli enteras, las mismas se colocaron en vasos de poliestireno expandido y se envolvieron con PVC perforado (**Figura 6 B**).

2.1.2. Kale

Hojas de kale verde (*Brassica oleracea* var. *sabellica* cv Darkibor F1) y kale morada (*Brassica oleracea* var. *sabellica* cv Redbor F1) producidas bajo invernaderos en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (Av. San Martín 4453, C1417 CABA), se cosecharon a las 8:00 a.m. según el tamaño (≈ 18 cm de largo) y se transportaron inmediatamente al laboratorio. Aproximadamente se cosecharon 400 hojas de cada tipo de cultivar para cada ensayo realizado.

Las muestras se seleccionaron adicionalmente para eliminar aquellas que presentaban defectos o daños físicos. Luego se lavaron durante 3 minutos con 150 mg l^{-1} de hipoclorito de sodio ajustado a pH 6,5 y se escurrieron durante 3 minutos a temperatura ambiente. Las hojas se colocaron en una multicapa (≈ 225 hojas por m^2) para simular las condiciones de venta al por menor en una exhibición a granel. Las hojas se sometieron a una nebulización de agua cada 12 h para evitar una deshidratación excesiva (**Figura 7**).



Figura 7. Hojas de kale dispuestas en multicapa.

2.1.3. *Alstroemeria* spp.

Flores de *Alstroemeria* spp. (*Alstroemeria* x *hybrida* var Hot Pepper, Könst Alstroemeria B.V., Países Bajos) fueron cosechadas en un invernadero comercial en los alrededores de la ciudad de La Plata, Argentina, e inmediatamente trasladadas al laboratorio. Aproximadamente se cosecharon 200 varas florales para cada ensayo. Los tallos se recortaron a 60 cm bajo el agua, para evitar embolias, y se transfirieron a frascos de vidrio de 1 l llenos hasta 0,25 l de agua desionizada previamente ajustada a pH 3,5 con ácido cítrico (**Figura 8**).



Figura 8. Flores de *Alstroemeria* spp.

2.1.4. Pimiento

Se utilizó la variedad de Ají dulce verde (*Capsicum annum* L. cv. Margarita) (**Figura 9A**) la cual fue comprada en el Mercado Central de La Plata, Argentina, e inmediatamente transportada al laboratorio. Se adquirieron 60 frutos aproximadamente para cada ensayo. El fruto se lavó con agua clorinada (hipoclorito de sodio, 100 mg l⁻¹ pH 6,5 durante 1 minuto), se retiraron los pedúnculos, la placenta y las semillas, y el pericarpio se cortó longitudinalmente en tiras de 5×1 cm (**Figura 9 B**).

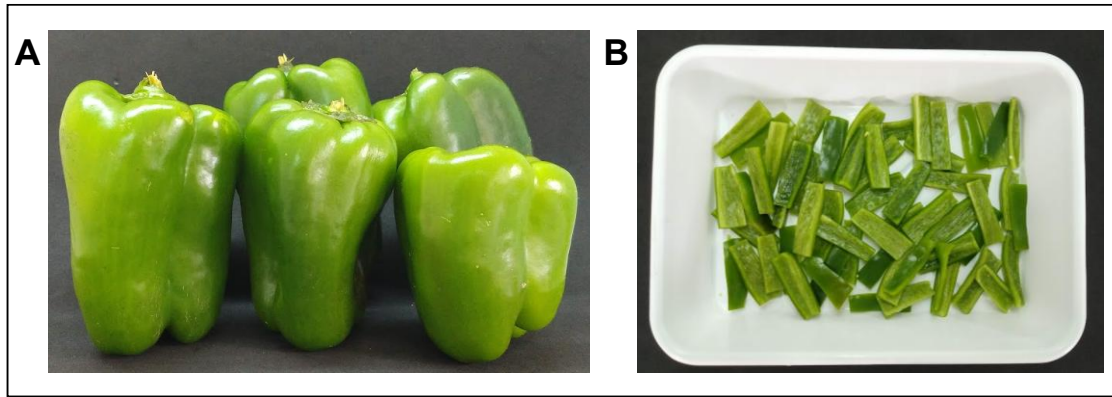


Figura 9. Pimiento verde *Capsicum annuum* L. cv. Margarita, A. Pimiento verde mínimamente procesado, B.

2.2. MATERIALES, TRATAMIENTOS Y ALMACENAMIENTO

2.2.1. Aplicación de luz en brócoli mínimamente procesado

Las bandejas que contenían el material vegetal se ubicaron en una cámara refrigerada a 5 °C, 90% de humedad relativa (HR) y se expusieron a una fuente de luz blanco frío de 30 W que consta de placas con 66 diodos LED cada una (Triano, Modelo: 10L069ISU7267, Argentina), bajo las siguientes intensidades de luz:

- i) Intensidad baja = 3,6 W m⁻²;
- ii) Intensidad media = 9,5 W m⁻²;
- iii) Intensidad alta = 19,0 W m⁻².

El espectro de emisión de la fuente de iluminación (**Figura 10**) y el flujo fotónico que llega a la superficie vegetal se determinaron con un espectrorradiómetro (AvaSpec-ULS3648, Avantes, Holanda) y con un sensor PAR (Radlogger RAD 1, Cavadevices, Argentina) con celda GaAsP, respuesta espectral de 400 a 700 nm.

Para cada condición de intensidad probada, las bandejas se sometieron a los siguientes ciclos de luz-oscuridad:

- a) 3:21 = 3 h de iluminación seguido de 21 h en oscuridad;
- b) 6:18 = 6 h de iluminación seguida de 18 h en la oscuridad;
- c) 12:12 = 12 h de iluminación seguida de 12 h en la oscuridad;
- d) 24:0 = iluminación continua.

Los ciclos de iluminación se repitieron diariamente durante todo el período de almacenamiento. Las muestras para cada fotoperiodo y tiempo de almacenamiento se distribuyeron aleatoriamente a lo largo de los estantes de almacenamiento. Como control se usó un conjunto de muestras de brócoli almacenadas en oscuridad a la misma temperatura. Se tomaron muestras a los días 0, 11 o 19 días de almacenamiento. Las mediciones se realizaron inmediatamente después del muestreo, o las muestras se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el análisis.

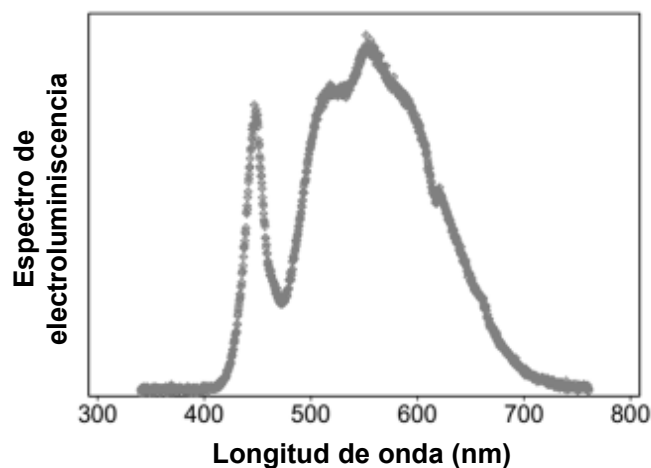


Figura 10. Espectro de electroluminiscencia de las fuentes de luz LED blanca fría utilizadas en los ensayos.

2.2.2. Aplicación de luz en brócoli entero

Los vasos que contenían las cabezas enteras de brócoli se almacenaron en refrigeración a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 93% HR. El dispositivo de iluminación utilizado fue el mismo que en la **sección 2.2.1**. Un grupo de brócolis fue expuesto a 3 h diarias de luz LED blanca fría de $9,5\text{ W m}^{-2}$ (**Figura 10**). El tratamiento de iluminación consistió

en una única etapa de iluminación (3 h) seguida de un período de oscuridad (21 h) cada día. Otro grupo de brócolis fue almacenado en las mismas condiciones, pero en continua oscuridad. Los brócolis se analizaron antes del almacenamiento o luego de 13 y 22 días de almacenamiento. Las muestras se analizaron inmediatamente o se congelaron en N₂ líquido y se almacenaron a -80 °C hasta su utilización.

2.2.3. Aplicación de luz en kale

Las hojas de kale se almacenaron en una cámara refrigerada a 5 °C y 80% HR. El tiempo de almacenamiento fue de 11 días y se tomaron muestras los días 0, 7 y 11. El almacenamiento se realizó bajo las siguientes condiciones de iluminación:

- i) Oscuridad (control).
- ii) Intensidad baja: 24 h de iluminación con 2 W m⁻².
- iii) Intensidad media: 24 h de iluminación con 7 W m⁻².
- iv) Intensidad Alta: 24 h de iluminación con 18 W m⁻².

En todos los tratamientos el dispositivo de iluminación utilizado fue el mismo que en la **sección 2.2.1**. Las hojas ubicadas en un gabinete a granel (50 × 26 cm) se mezclaron una vez al día para mejorar la uniformidad de la exposición a la luz. La mezcla de hojas involucró tanto la inversión aleatoria como la reubicación de algunas hojas inferiores en la parte superior del gabinete. Tal operación de mezclado fue muy suave para evitar daños físicos y duró 30 segundos. Se utilizaron tres repeticiones de 30 hojas cada una para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.2.4. Aplicación de luz en flores de corte

2.2.4.1. Experiencia a 20 °C:

En un primer experimento, los frascos se transfirieron a una sala a 20 °C y 70% HR; bajo tres condiciones de iluminación diferentes (**Figura 11**):

- i) almacenamiento en la oscuridad (Control).
- ii) iluminación LED blanco cálido (B, 460+500-670 nm, 12 W m⁻²).
- iii) iluminación LED rojo-azul 40:60 (R+A, 470+630 nm 12 W m⁻²).

La luz se dispuso por la parte superior de las flores con un ciclo luz-oscuridad de 16:8 h. Los tallos se mantuvieron en un volumen constante de agua, adicionando agua fresca acidificada en cada día de muestreo. Se tomaron muestras a los 0, 7 y 14 días. Se utilizaron dieciocho flores para cada tratamiento y el experimento se realizó tres veces.

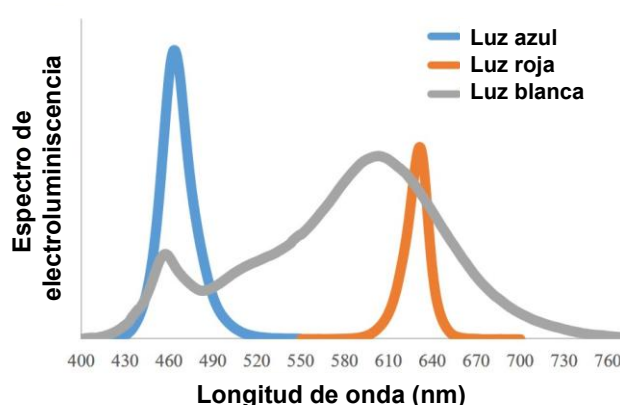


Figura 11: Espectro de electroluminiscencia de las fuentes de luz LED utilizadas en los ensayos sobre *Alstroemeria* spp.

Dado que el tratamiento R+A no mostró ventajas generales sobre el tratamiento B a 20 °C, no se incluyó en el segundo conjunto de experimentos realizados a 5 °C.

2.2.4.2. Experiencia a 5 °C:

Se realizó un segundo experimento en almacenamiento en condiciones de refrigeración: 5 °C, 90% HR bajo dos condiciones de iluminación:

- i) almacenamiento en la oscuridad (Control).
- ii) iluminación LED blanco cálido (B, 460+500-670 nm, 12 W m⁻²).

La luz se dispuso por la parte superior de las flores con un ciclo luz-oscuridad de 16:8 h. Los tallos se mantuvieron en un volumen constante de agua, adicionando agua fresca acidificada en cada día de muestreo. Se tomaron muestras a los 0, 26 y 36 días. Se utilizaron dieciocho flores para cada tratamiento y el experimento se realizó tres veces.

2.2.5. Tratamientos con riboflavina

2.2.5.1. Selección de la concentración de riboflavina para el control de las podredumbres

Se sumergieron grupos de 20 tiras de pimiento preparados en agua (control) o soluciones que contenían 1, 10 o 100 $\mu\text{mol l}^{-1}$ de riboflavina (Rib) a 20 °C durante 5 minutos. Las soluciones se prepararon colocando la masa requerida de riboflavina (Parafarm®) en un matraz aforado de 2 l. Después de agregar 750 ml de agua destilada, la dispersión se agitó a mano durante 2 minutos para asegurar la disolución y se llevó a 2 l con agua destilada. Todas las soluciones de Rib se prepararon inmediatamente antes de su uso. Después del tratamiento, las muestras se escurrieron y se empaquetaron en bandejas de plástico cubiertas con PVC perforado (cuatro orificios de 1 mm de diámetro por cm²) para evitar la acumulación de CO₂ y se almacenaron a 8 °C (condición de abuso de temperatura) y 94% de HR durante 9 días. Después del almacenamiento, se tomaron muestras y se evaluó el deterioro de las tiras individuales. La incidencia de podredumbre se determinó evaluando el número de tiras de pimiento que presentaban síntomas de la enfermedad y se expresó en porcentaje. La severidad de la podredumbre se evaluó usando una escala de intensidad de

cuatro niveles (0-3) (0= saludable; 1= incidencia baja de podredumbre con áreas maceradas incipientes; 2= incidencia moderada de podredumbre con áreas maceradas claras que muestran exudados, y 3= podredumbre alta). La incidencia de las podredumbres se determinó calculando el área macerada o crecimiento visible de micelio. Para cada grupo de tratamiento se registró la frecuencia de daños en cada nivel y se calculó la mediana.

2.2.5.2. Efecto del tratamiento con riboflavina seleccionado sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de pimiento verde recién cortado durante el almacenamiento refrigerado

Las tiras de pimiento verde preparadas como se describe en la **sección 2.1.4.** se sumergieron en agua (control) o 100 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Rib a 20 °C durante 5 minutos. Las muestras empacadas en bandejas de plástico y cubiertas con PVC perforado se almacenaron a 4 °C y 94% HR por 6, 9 o 12 días. En cada tiempo de almacenamiento, se tomaron muestras y se utilizaron para evaluar la calidad. Inmediatamente después del muestreo se evaluó la incidencia y severidad de las podredumbres, la pérdida de iones (electrolitos), la respiración, las propiedades texturales (dureza, rigidez y resistencia a la flexión), los recuentos microbiológicos (levaduras, mohos y bacterias aerobias mesófilas), la pérdida de peso y el color. Para la medición de azúcares, ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y quínico), capacidad antioxidante, fenoles totales y ácido ascórbico, las muestras de análisis se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -80 °C hasta su uso. Para cada tratamiento y día de muestreo se evaluaron diez bandejas con 25 tiras de pimiento cada una.

2.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

2.3.1. Índice de deterioro del color (CDI)

El CDI se evaluó visualmente utilizando una escala de 3 puntos con las siguientes categorías:

0 = verde oscuro

1 = verde claro;

2 = amarillo-verde.

El CDI se calculó como:

$$CDI = \Sigma \frac{(Categoría\ de\ deterioro\ del\ color\ x\ N^o\ muestras\ en\ esta\ categoría)}{N^o\ total\ de\ muestras}$$

En el caso del brócoli procesado la unidad muestral fue cada bandeja, analizándose 10 submuestras de cada una y promediando el valor correspondiente. En el caso de los ensayos con brócoli entero; la unidad estadística fue cada cabeza individual.

Este método se aplicó en los ensayos realizados sobre brócoli, **sección 2.2.2.** y **2.2.3.**

2.3.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó pesando el material vegetal al comienzo del experimento y durante todo el período de almacenamiento. En el caso de los ensayos con brócoli entero se pesaron las cabezas individualmente. En los ensayos con vegetales procesados se pesaron las bandejas. Se evaluaron diez vegetales para cada bandeja y se evaluaron cuatro bandejas para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. Los resultados se expresaron en porcentaje con respecto al peso inicial.

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

2.3.3. Color

El color superficial de las muestras se determinó midiendo los parámetros de escala de color L^* , a^* y b^* con un colorímetro (Minolta CR400, Osaka, Japón).

El ángulo de Hue° se calculó como:

$$^{\circ}H = 180^{\circ} + [360 * \tan^{-1}(b^*/a^*)/ 6,28].$$

Dado que a^* era <0 y $b^* > 0$.

El croma se calculó como; $\sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$

Se analizaron diez mediciones para cada bandeja o unidad de muestreo y se evaluaron cuatro bandejas para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

La diferencia de color total (ΔE^*) se calculó según **Lindbloom (2016)**.

Este protocolo se utilizó en todos los tipos de ensayos realizados en la presente tesis.

2.3.4. Clorofilas y carotenoides

Las muestras del material vegetal se congelaron en N_2 líquido, se trituraron en un molino de laboratorio y 0,4 g del polvo obtenido se homogeneizaron en 5 ml de acetona-agua (80:20), se agitó y luego se centrifugó a $5000 \times g$ durante 15 minutos. El sobrenadante se usó para determinar el contenido de clorofila y carotenoides de acuerdo con **Lemoine et al. (2009)**. Los resultados se expresaron en $mg \text{ kg}^{-1}$ en base al peso fresco. Se realizaron tres réplicas para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.3.5. Azúcares

2.3.5.1 Por cromatografía en fase líquida

Aproximadamente 50 g de tejido vegetal congelado en N_2 líquido se molieron en un molino y 0,6 g de la muestra pulverizada resultante se homogeneizaron en 5 ml de etanol y se agitaron en vórtex durante 1 minuto. La mezcla se centrifugó a

5000 x *g* durante 10 minutos a 4 °C; el sobrenadante se guardó y se filtró a través de una membrana RC de 0,2 µm (Cole-Parmer, EE. UU.). Para la determinación de azúcares, se usó un cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento (Modelo 1525, WatersCorp., EE.UU.), equipado con un detector de índice de refracción (Modelo IR 2414, Waters Corp., EE. UU.) y una columna Hypersil Gold Amino (4,6 × 250 mm, 5 mm, Thermo Sci., EE. UU.). Las muestras se procesaron isocráticamente en acetonitrilo-agua (70: 30) a una velocidad de flujo de 1,0 ml minuto⁻¹. Se realizaron cuatro mediciones por tratamiento y se evaluó el tiempo de almacenamiento. Los resultados se expresaron en mg kg⁻¹ de azúcar en peso fresco. Los patrones grado HPLC utilizados y los rangos de concentración en mg ml⁻¹ fueron; fructosa: 0,06-12,90 (tiempo de retención: 4,6 minutos), glucosa: 0,05-13,60 (tiempo de retención: 5,4 minutos) y sacarosa: 0,05-12,50 (tiempo de retención: 7,2 minutos).

2.3.5.2. Por espectrofotometría

Aproximadamente 25 g de muestra vegetal congelada en N₂ líquido se molió en un molino y 0,6 g de la muestra resultante se homogeneizaron en 5 ml de etanol y se agitaron con vortex durante 1 minuto. La suspensión se centrifugó a 5.000 x *g* durante 10 minutos a 4 °C. Los azúcares se midieron con el reactivo antrona (**Andersson et al., 2006**). Se usó glucosa como estándar y los resultados se expresaron como equivalentes de glucosa (g kg⁻¹) sobre la base del peso fresco. Se analizaron tres extracciones independientes para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Este protocolo se aplicó en las muestras de *Alstroemeria spp.* provenientes de los ensayos correspondientes a la **sección 2.2.4**.

2.3.6. Ácido ascórbico

Las muestras se congelaron en N₂ líquido, se procesaron en un molino y se homogeneizó aproximadamente 1 g del polvo resultante con 5 ml de ácido m-fosfórico al 2,5% m/v. La mezcla se agitó en vórtex durante 1 minuto y luego se centrifugó a 12.000 x g durante 10 minutos a 4 °C. El sobrenadante se guardó y se filtró a través de una membrana RC de 0,2 µm. La determinación del ácido ascórbico (AsA) se realizó utilizando un cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento (Modelo 1525, Waters Corp., EE. UU.), Equipado con un detector de matriz de fotodiodos y una columna C18 (4,6 × 150 mm, 5 mm, Waters Corp., EE. UU.). La fase móvil consistió en 0,5% m/v de ácido metafosfórico-acetonitrilo (93:7) y se ejecutó isocráticamente a una velocidad de flujo de 1,0 ml min⁻¹. Las muestras se detectaron a 254 nm y la identificación y cuantificación de AsA se realizó mediante el uso de una curva de calibración con un estándar. Los resultados se expresaron en mg kg⁻¹ en base al peso fresco. Se analizaron cuatro muestras para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Este protocolo se aplicó para procesar las muestras de los ensayos correspondientes a las **secciones 2.2.1; 2.2.2. y 2.2.5.**

2.3.7. Fenoles totales

Aproximadamente 50 g de la muestra vegetal representativa congelada en N₂ líquido se molieron en un molino y 0,6 g de la muestra resultante se homogeneizaron en 5 ml de etanol y se agitaron en vórtex durante 1 minuto. La mezcla se centrifugó a 5000 x g durante 10 minutos a 4 °C. Cincuenta microlitros (µl) del sobrenadante se añadieron a 950 µl de agua destilada y 50 µl de reactivo Folin-Ciocalteu diluido en agua 1: 1. Después de 3 minutos, se agregaron 100 µl de una solución con Na₂CO₃ al 20% m/v en 0,1 mol l⁻¹ NaOH y las muestras se

incubaron a 25 °C durante 90 minutos (**Singleton et al., 1999**). La absorbancia se midió en un espectrofotómetro a 760 nm y los compuestos fenólicos totales se calcularon usando ácido clorogénico (CGA) como estándar. Los resultados se expresaron en equivalentes de CGA (mg kg^{-1}) en base al peso fresco.

Se analizaron cuatro réplicas por tratamiento y tiempo de almacenamiento. Este protocolo se aplicó en todos los ensayos realizados en la presente tesis.

2.3.8. Flavonoides

Aproximadamente 50 g de material vegetal congelado en N_2 líquido se molió en un molino y se mezclaron con 5 ml de solución de agua-etanol al 80% v/v, luego se homogeneizó y se centrifugó a $5000 \times g$ durante 10 minutos a 4 °C. El sobrenadante se utilizó para la determinación de flavonoides. Para las mezclas de reacción, se agregó una alícuota de 50 μl de extracto etanólico a 650 μl de agua destilada y 50 μl de NaNO_2 al 5% p/v. Después de equilibrar durante 5 minutos, se añadieron 50 μl de AlCl_3 al 10% p/v. La mezcla se incubó durante 15 minutos a 20 °C y se determinó la absorbancia a 450 nm utilizando un espectrofotómetro. Se preparó una curva estándar utilizando una alícuota de quercetina (Q) 3,64 μM . El contenido de flavonoides se expresó como g kg^{-1} de Q en base a peso fresco.

2.3.9. Tasa respiratoria

La determinación se realizó colocando una muestra pesada de material vegetal en frascos de 3.000 ml, se sellaron y se incubaron en oscuridad a 5 °C durante 10 minutos, luego se tomó la lectura inicial. Exactamente luego de 15 minutos de tomar la muestra inicial se tomó la muestra final. Las muestras de gas se extrajeron con una jeringa de 1 ml a través de un septum colocado en la tapa del frasco. El contenido de CO_2 en los frascos se determinó utilizando un analizador

infrarrojo (Non Dispersive Infrared Detector, Cavadevices, Argentina). Las medidas se realizaron por triplicado para cada día de muestreo y tratamiento y los resultados se expresaron como mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

En el caso de los ensayos con pimiento cortado (**sección 2.2.5.**), las muestras de pimiento verde con un peso aproximado de 80 g se colocaron en un matraz de vidrio de 500 ml, se sellaron y se incubaron a 20 °C durante 20 minutos. La concentración de CO₂ en el espacio de cabeza se controló con un sensor infrarrojo (Compu-flow, modelo 8650, Alnor, EE.UU.). Se calculó la respiración de los frutos y los resultados se expresaron en mmol de CO₂ producido por kilogramo de peso fresco en una hora. Se realizaron tres mediciones por tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.3.10. Deterioro

La incidencia de podredumbre se evaluó determinando el número de muestras podridas por bandeja. La severidad de la descomposición se evaluó en base a una escala de intensidad de cuatro niveles como se describe en la **sección 2.2.5.1.**; para cada bandeja se calculó posteriormente un índice de severidad de descomposición (DSI) como:

$$DSI = \sum Ni \frac{Di}{Nt}$$

Siendo;

Ni. Número de tiras en el nivel de daño i.

Di. Nivel de daño.

Nt. El número total de tiras.

Se usaron cinco réplicas biológicas que consistían en 25 muestras vegetales cada una por tratamiento. Este protocolo se utilizó en todos los ensayos realizados con pimiento verde cortado; **sección 2.2.5.**

2.3.11. Pérdida de electrolitos

Para la evaluación de la pérdida de electrolitos, se tomaron muestras de material vegetal con un peso aproximado de 10 g y se incubaron en tubos de plástico que contenían agua destilada durante 5 minutos a 20 °C con agitación suave. Se eliminó el tejido por filtración y se midió la conductividad de la solución con un conductímetro (Oakton Model 510, IL USA). Para evaluar los electrolitos totales en el tejido, las tiras de pimiento se colocaron nuevamente en los tubos de plástico y se trituraron con un Omnimixer (Sorvall Inc.) Luego, la suspensión se centrifugó a 10.000 xg durante 10 minutos y la conductividad total del sobrenadante se midió a 20 °C como se describió anteriormente. Los resultados se expresaron como el porcentaje de electrolitos que se filtraron de los tejidos durante el período de incubación. Se realizaron tres mediciones para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. Este protocolo se utilizó en los ensayos realizados con pimiento verde cortado; **sección 2.2.5.**

2.3.12. Recuentos microbiológicos

Se agitaron veinticinco gramos de tiras de pimiento en 225 ml de peptona al 0,1% p/v durante 15 minutos. Se prepararon diluciones en serie de las suspensiones resultantes, (diluciones de 10^{-1} a 10^{-5}) y se vertieron 100 μ l de las diluciones apropiadas en placas de Petri que contenían agar de recuento en placa (PCA) y medio de agar de glucosa de levadura con cloranfenicol (YGC) para bacterias aerobias mesófilas y, levaduras y mohos, respectivamente. Las placas para bacterias aerobias mesófilas se incubaron a 30 °C durante 3 días y para levaduras y mohos a 20 °C durante 5 días. Los resultados se expresaron como logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo de peso fresco (log UFC g⁻¹). Se realizaron tres repeticiones para cada tratamiento y tiempo de

almacenamiento. Dado que el daño principal en los pimientos cortados se explica mejor por la ponderación de las podredumbres, el presente protocolo solo se utilizó en los ensayos con pimiento verde cortado; **sección 2.2.5.**

2.3.13. Propiedades texturales

Se utilizó un analizador de texturas (TA.XT2, Stable Micro Systems Texture Technologies). Para la evaluación de la dureza y la rigidez, las muestras se perforaron en la zona ecuatorial (lado interior del pericarpio) con una sonda plana de 3 mm de diámetro a una velocidad de 1 mm s^{-1} . La fuerza máxima (dureza) y la pendiente inicial de la curva fuerza vs distancia (rigidez) se registraron en Newton (N) y N mm^{-1} respectivamente. Se realizaron 50 mediciones para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. Para evaluar la resistencia a la flexión, las tiras individuales de pimiento dulce se suspendieron con el lado de la epidermis hacia abajo en una plataforma de metal con dos puntos de contacto separados 3 cm entre sí. Se aplicó una fuerza de compresión normal en el centro de la sección suspendida con una sonda rectangular (Sección 5 x 2 mm) a una velocidad de 1 mm s^{-1} . La fuerza requerida para doblar las tiras se registró y se expresó como N mm^{-1} . Se realizaron cincuenta mediciones independientes para cada prueba de evaluación de textura, tratamiento y tiempo de almacenamiento. El presente protocolo se utilizó en los ensayos con pimiento verde cortado; **sección 2.2.5.**

2.3.14. Capacidad antioxidante

Aproximadamente 25 g de material vegetal congelado en N_2 líquido se molió en un molino y 1 g del polvo resultante se agitó durante 1 minutos en 10 ml de etanol frío y se centrifugó a $15.000 \times g$ durante 10 minutos a $4 \text{ }^\circ\text{C}$. El sobrenadante se trasvasó a tubos falcon de 15 ml.

El ensayo de eliminación de radicales libres DPPH[•] se realizó de acuerdo con **Brand-Williams et al., (1995)**, con modificaciones menores. Se llevaron alícuotas de dos mililitros de los extractos etanólicos a 10 ml con etanol y se usaron para evaluar la capacidad de eliminación de DPPH[•]. Se prepararon tubos de ensayo con 0, 50, 75, 125, 175 y 225 µl de muestra y se agregó etanol hasta un volumen final de 500 µl. Posteriormente, se añadió 800 µl de una solución de 60 mg l⁻¹ del radical DPPH[•] en etanol como solvente. Las muestras se agitaron y se incubaron a 20 °C durante 60 minutos. Se midió la absorbancia a 515 nm y se calculó la masa equivalente de tejido de fruto requerida para consumir el 50% de la absorbancia inicial de DPPH[•] (EC50). La capacidad antioxidante se definió como EC50⁻¹ (kg⁻¹). Se realizaron tres mediciones para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. Este protocolo se utilizó en los ensayos de la **sección 2.2.3.**

Respecto del ensayo con el radical ABTS^{•+}, se midió la absorbancia de la solución del reactivo que se fijó en 0,8 como base para el cálculo del % de reducción del ABTS^{•+}. La mezcla de reacción se preparó colocando 20 µl del extracto etanólico y 30 µl de etanol con 1 ml del reactivo de ABTS^{•+}, se agitó y se midió la absorbancia a 734 nm luego de 6 minutos. Para que la medida sea válida, se fijó un porcentaje de reducción de la absorbancia entre el 20 y 80%. Los resultados se expresaron como equivalentes del patrón Trolox en mg kg⁻¹ en base al peso fresco del tejido. Este protocolo se utilizó en los ensayos de la **sección 2.2.2.**

2.3.15. Ácidos orgánicos

Aproximadamente 500 mg del tejido congelado se molieron en un molino y se mezclaron con 1 ml de ácido trifluoroacético (TCA) 3% v/v frío, en un tubo de

plástico y se centrifugaron a 16.000 x g durante 10 minutos a 4 °C. El sedimento se separó y se volvió a extraer con TCA. Ambos sobrenadantes se combinaron y mantuvieron en un baño de hielo para la medición. Las muestras se eluyeron en columna C18 (Sep-Pak® Vac 3 cc, 500 mg, Waters). Los contenidos de ácidos orgánicos se midieron en un HPLC equipado con una bomba LC-10 AT (Shimadzu) a un caudal de 0,5 ml min⁻¹ de 100 mmol l⁻¹ de buffer de fosfato de potasio ajustado a pH 3,0 y utilizando un UV-Detector VIS (Modelo SPD-10AV, Shimadzu) a 265 nm. Se utilizaron como estándares ácido cítrico, málico y quínico, y los resultados se expresaron en g kg⁻¹ sobre la base del peso fresco. Se realizaron tres mediciones para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. El presente protocolo se utilizó en los ensayos con pimiento verde cortado; **sección 2.2.5.**

2.3.16. Consumo de agua, calibre del tallo y área del tépalo

Para analizar el estado hídrico de los tallos de *Alstroemeria*, se midió el peso fresco y el diámetro del tallo en cada día de evaluación. Los matraces se rellenaron con agua acidificada (pH 3,5) hasta el nivel anterior y también se registró el volumen de reposición, para calcular el consumo por evapotranspiración. El área de tépalos (cm²) se midió con el software ImageJ 1.53t, a los 7 y 14 días después de la cosecha en los tallos almacenados a 20 °C, y a los 26 y 36 días después de la cosecha en los tallos almacenados a 5 °C. El calibre de los tallos se midió utilizando un calibre digital.

2.3.17. Antocianinas totales

El contenido de antocianinas en flores de *Alstroemeria spp.* se determinó espectrofotométricamente por el método de diferencial de pH (**Giusti y Wrolstad, 2005**). Aproximadamente 5 g de tépalos rojos congelados (segundo

verticilo de tépalos) se molieron en un molino y 0,5 g del polvo se homogeneizaron con 5 ml de tampón de cloruro de potasio 0,025 M, pH 1, o con tampón de acetato de sodio 0,4 M, pH 4. Se midió la absorbancia a 520 nm y 700 nm (para corregir la turbidez). El contenido de antocianinas se expresó en mg de cianidina-3-glucósido (C3G) l⁻¹ utilizando el coeficiente de extinción de $\epsilon = 0,060 \text{ l mg}^{-1} \text{ cm}^{-1}$:

$$C3G \text{ mg l}^{-1} = (\text{Abs pH: 1} - \text{Abs pH: 4, 5}) * \epsilon^{-1} * \text{cm}^{-1} * DF \text{ (factor de dilución)}$$

2.3.18. Análisis estadístico

2.3.18.1. Ensayos con brócoli mínimamente procesado

El diseño del experimento fue factorial del tipo: 4 × 4 × 3: irradiancia lumínica (4 niveles; 0 Wm⁻²; 3,6 Wm⁻²; 9,5 Wm⁻² y 19 Wm⁻²), fotoperiodo (4 niveles; luz-oscuridad: 24:0, 3:21, 6:18, 12:12 h) y tiempo de almacenamiento (3 niveles; 0, 11 y 19 días). Para cada condición de tratamiento se utilizaron cuatro bandejas independientes conteniendo 15 floretes cada una. Los datos se analizaron con la prueba del modelo lineal general ANOVA utilizando el software InfoStat (**Di Rienzo et al., 2012**). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, los valores medios se compararon por la diferencia mínima significativa utilizando la prueba de Fisher ($p < 0,05$).

2.3.18.2. Ensayos con brócoli entero

El experimento se diseñó de acuerdo con un diseño factorial con dos factores; irradiancia lumínica (2 niveles, 0 Wm⁻² y 9,5 W m⁻²) y tiempo de almacenamiento (3 niveles, 0, 13 y 22 días). Los datos se analizaron con la prueba del modelo lineal general ANOVA. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, los valores medios se compararon mediante la prueba de Fisher

de diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Se utilizó el software InfoStat (**Di Rienzo et al., 2012**).

2.3.18.3. Ensayos con hojas de kale

Para cada tipo de kale estudiado (verde y morado) se realizó un diseño factorial con dos factores; irradiancia lumínica (4 niveles, Control, 5 Wm⁻², 15 Wm⁻² y 40 W m⁻²) y tiempo de almacenamiento a 5 °C (3 niveles, 0, 7 y 11 días). Los datos se sometieron a ANOVA y las medias se compararon mediante la prueba LSD utilizando el software InfoStat (**Di Rienzo et al., 2012**) a un nivel de significación de $p < 0,05$.

2.3.18.4. Ensayos con pimiento mínimamente procesado

Para seleccionar la concentración de riboflavina más eficaz, se utilizó un diseño completamente al azar. Los datos de incidencia y gravedad de la podredumbre del pimiento se analizaron mediante las pruebas no paramétricas de Chi-cuadrado y la prueba de Mann-Whitney, respectivamente ($p < 0,05$).

Para evaluar el efecto de la riboflavina en la calidad del pimiento, se utilizó un diseño factorial con dos factores; tratamiento (2 niveles, 0 y 100 µM) y tiempo (4 niveles, 0, 6, 9 y 12 días). Los datos se analizaron con la prueba del modelo lineal general ANOVA. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, los valores medios se compararon mediante la prueba de Fisher de diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Se utilizó el software InfoStat (**Di Rienzo et al., 2012**).

2.3.18.5. Ensayos con flores de *Alstroemeria* spp.

Los experimentos se diseñaron según un diseño factorial, con los siguientes factores: tratamiento de iluminación (3 niveles; Control almacenado en oscuridad, C, rojo+azul, R + A y LED blanco, B) y el tiempo de almacenamiento

a 20 °C (2 niveles; 7 o 14 días) o 5 °C (2 niveles; 25 o 35 días). Los datos se analizaron mediante ANOVA y las medias se compararon mediante la prueba LSD de Fisher utilizando el software InfoStat (**Di Rienzo et al., 2012**) a un nivel de significación de $p < 0,05$.

Capítulo 3

Efecto de la intensidad y el tiempo de exposición a la luz sobre la calidad de brócoli mínimamente procesado

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS

-Estudiar el efecto de diferentes intensidades (3; 9,5 y 19,0 W m⁻²) y tiempos de exposición (3, 6, 12 y 24 h) a la luz LED blanca sobre calidad de brócoli mínimamente procesado durante el almacenamiento refrigerado.

-Hipótesis

La intensidad y tiempo de exposición a la luz son factores que determinan la calidad poscosecha de brócoli mínimamente procesado refrigerado.

-Determinar el impacto de la exposición a la luz sobre el contenido de nutrientes de brócoli mínimamente procesado en refrigeración.

-Hipótesis

La exposición del brócoli mínimamente procesado a la condición apropiada de luz retrasa la pérdida de nutrientes del producto.

3.2. INTRODUCCIÓN

El principal deterioro o pérdida de calidad del brócoli luego de la cosecha consiste en la pérdida del color verde. Se ha demostrado que la exposición a la luz de forma continua retrasa la expresión de feofitinas y la degradación de la clorofila (**Büchert et al., 2011**). También se informó que la exposición a la luz blanca durante 12 h por día puede ser efectiva para extender la vida útil del brócoli (**Jin et al., 2015**). Estos estudios realizados en condiciones no refrigeradas proporcionan una base fundamental para entender las respuestas biológicas de los vegetales frescos frente a la exposición a la luz en poscosecha. Sin embargo, se necesitan trabajos complementarios para establecer su potencial tecnológico. Analizando la bibliografía se encuentra que muy pocos trabajos han evaluado los beneficios de la suplementación de luz visible poscosecha en productos refrigerados. Además, los resultados reportados en la literatura han arrojado resultados muy variables. Se han informado desde mejoras en la calidad poscosecha (**Charles et al., 2018**) hasta la ausencia de respuestas (**Olarte et al., 2009**) o incluso un mayor deterioro (**Sanz et al., 2009**; **Xiao et al., 2014**). Entre otros factores, esta variabilidad puede deberse al uso de diferentes fuentes de radiación. Otras dos variables clave que necesitan ser mejor comprendidas en cada producto son la intensidad de la irradiación y el tiempo de exposición. Conocer estas variables será de utilidad para desarrollar tratamientos tecnológicamente atractivos y eficaces.

El objetivo de este capítulo fue estudiar la influencia de la intensidad de radiación y el tiempo de exposición a la misma sobre la calidad poscosecha de brócoli mínimamente procesado.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Pérdida de peso y deterioro visual

Luego de 11 días de almacenamiento a 5 °C, los brócolis iluminados con la intensidad de luz media (9,5 W m⁻²) y alta (19,0 W m⁻²) expuestos de forma continua evidenciaron una mayor pérdida de peso (PP) que el brócoli control almacenado en oscuridad (**Figura 12**). Otros autores han reportado resultados similares en coliflor (**Sanz et al., 2007**) y en puerro (**Ayala et al., 2009**). Aunque los LED son más eficientes que las luces incandescentes y fluorescentes, aún generan algo de calor. Por lo cual es esperable un mayor impacto en la PP en los tratamientos prolongados de alta intensidad (**Branas et al., 2013**). En la última fecha de muestreo, cuando los síntomas de senescencia en las muestras fueron más evidentes, se encontraron grandes diferencias en la PP entre los tratamientos. Los efectos de la intensidad de la luz sobre la deshidratación de los tejidos después de 19 días de almacenamiento fueron de particular interés. La exposición a la luz de baja intensidad (3,6 Wm⁻²) durante 3, 6 o 12 h por día resultó en valores de PP comparables con los controles almacenados en la oscuridad, mientras que el tratamiento por 3 a 12 h por día bajo luz de intensidad media o 3 h con radiación de alta intensidad disminuyó notablemente la PP del brócoli. Con respecto al tiempo de exposición, para todas las intensidades de radiación evaluadas, se observó que su incremento condujo a mayor PP.

La exposición a la luz puede modular el grado de pérdida de agua en los tejidos verdes a través de mecanismos que tienen efectos opuestos. Por un lado, puede prevenir la deshidratación al retrasar el envejecimiento celular y la desorganización tisular (**Li et al., 2016**). Por otro lado, la luz es un regulador conocido de la apertura estomática, no solo en condiciones a campo (**Kinoshita**

et al., 2001), sino también durante el almacenamiento (*Martínez-Sánchez et al.*, 2011).

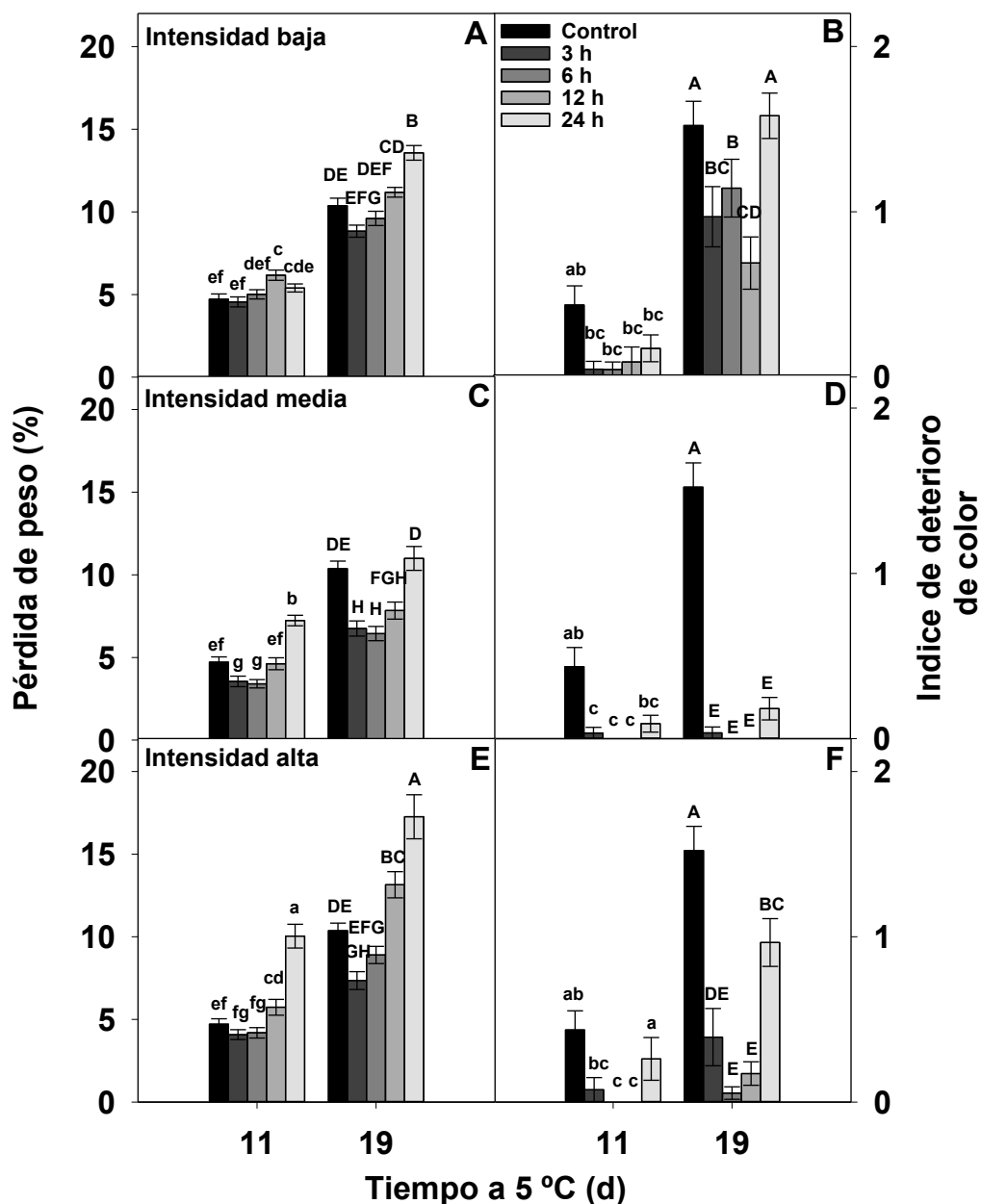


Figura 12: Pérdida de peso, A, C y E. Índice de deterioro del color (IDC), B, D y F en brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, media o alta para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante el almacenamiento para 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Diferentes letras minúsculas y mayúsculas indican diferencias significativas entre las medias después de 11 y 19 días de almacenamiento, respectivamente, basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

En línea con esto, **Noichinda et al., (2007)** informaron que las hojas de kale almacenadas a 1 °C mantuvieron el 90% de sus estomas abiertos bajo luz continua, pero menos del 10% en la oscuridad. Entonces, se puede esperar que los tratamientos de iluminación que inducen la apertura de estomas disminuyan la resistencia al flujo de vapor de agua y favorezcan la pérdida de peso. Aunque los sépalos de brócoli son muy ricos en estomas (**Kunkel, 2019**), su dinámica bajo almacenamiento y su capacidad de respuesta a los regímenes de iluminación poscosecha no se han estudiado hasta ahora. Esto podría ayudar a entender mejor el efecto de la luz sobre la funcionalidad estomática y su rol en la PP. En cualquier caso, los resultados muestran claramente que tanto la intensidad de la luz como el tiempo de exposición tienen, incluso a bajas temperaturas, un efecto significativo sobre la susceptibilidad del brócoli a la deshidratación.

Luego de 11 días, visualmente se encontraron ligeros cambios en el color en las muestras (**Figura 12**), con las muestras control y las expuestas continuamente a la luz mostrando síntomas incipientes de amarillamiento. A los 19 días, el brócoli control presentó síntomas de senescencia evidentes (IDC~1,5). Independientemente del tiempo de exposición, la iluminación de baja intensidad no fue eficaz para retrasar la senescencia. En contraste, la exposición a la luz de intensidad media y alta retrasó significativamente el deterioro visual. La exposición diaria a la luz durante 3 a 12 h tanto en intensidad media como alta fue muy efectiva para mantener la calidad visual del brócoli mínimamente procesado. De hecho, estos tratamientos no mostraron variaciones del IDC durante todo el período de almacenamiento.

3.3.2. Color

El ángulo Hue°, parámetro de la tonalidad de color, antes del almacenamiento fue de aproximadamente 120°, indicativo de un brócoli verde oscuro (**Figura 13**), y disminuyó durante el almacenamiento. Los cambios de color fueron limitados hasta el día 11, pero luego ocurrieron relativamente rápido. Los brócolis expuestos a luz de baja intensidad mostraron cambios de Hue° comparables a las muestras control almacenadas en la oscuridad.

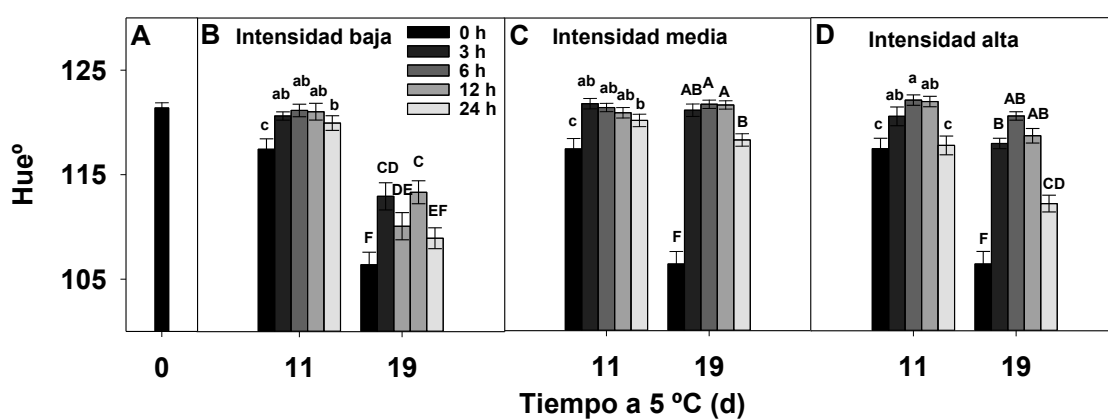


Figura 13: Hue°. Cosecha, A. Brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras minúsculas y mayúsculas indican diferencias significativas entre las medias después de 11 y 19 días de almacenamiento, respectivamente, basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

De acuerdo con los resultados descritos para la evaluación del color visual los tratamientos de exposición a la luz de alta intensidad por 3, 6 o 12 h fueron efectivos para prevenir los cambios del color, aunque la exposición continua, 24 h, a la luz de alta intensidad aceleró la caída del Hue°. Sorprendentemente, los tratamientos con intensidad media no mostraron cambios durante todo el período de almacenamiento, independientemente del tiempo de exposición.

Los valores de luminosidad (L^*) mostraron una tendencia creciente durante el almacenamiento, acompañando el amarillamiento del brócoli (**Figura 14**). El

brócoli tratado con luz de baja intensidad no presentó diferencias en los valores de L* en comparación con el control. Por el contrario, los tratamientos de iluminación de intensidad media y alta limitaron el incremento de la luminosidad del brócoli en todos los fotoperiodos evaluados.

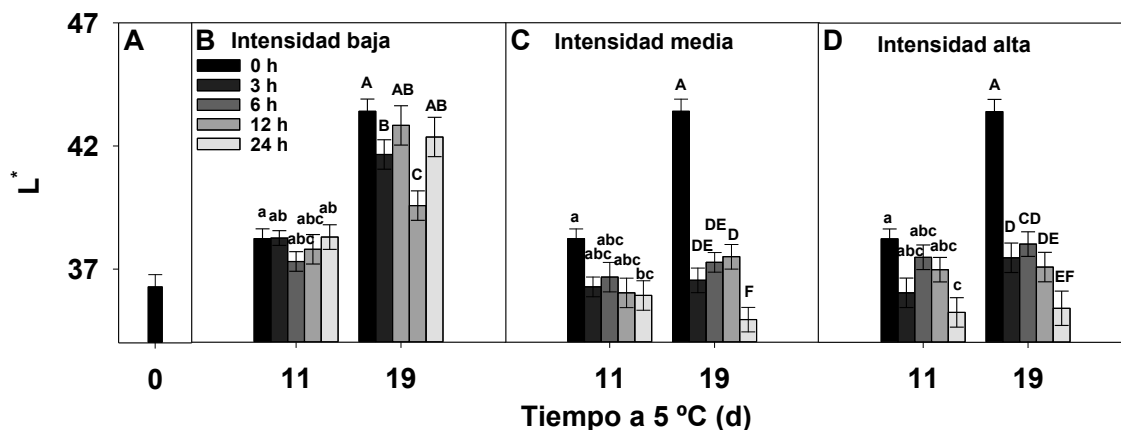


Figura 14: Luminosidad (L*). Cosecha, A. Brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante almacenamiento por 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras minúsculas y mayúsculas indican diferencias significativas entre las medias después de 11 y 19 días de almacenamiento, respectivamente, basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La saturación de color (chroma) también mostró un aumento para el control y el brócoli tratado con baja intensidad durante el almacenamiento, mientras que no se encontraron variaciones en las muestras expuestas a intensidad media o alta (Figura 15).

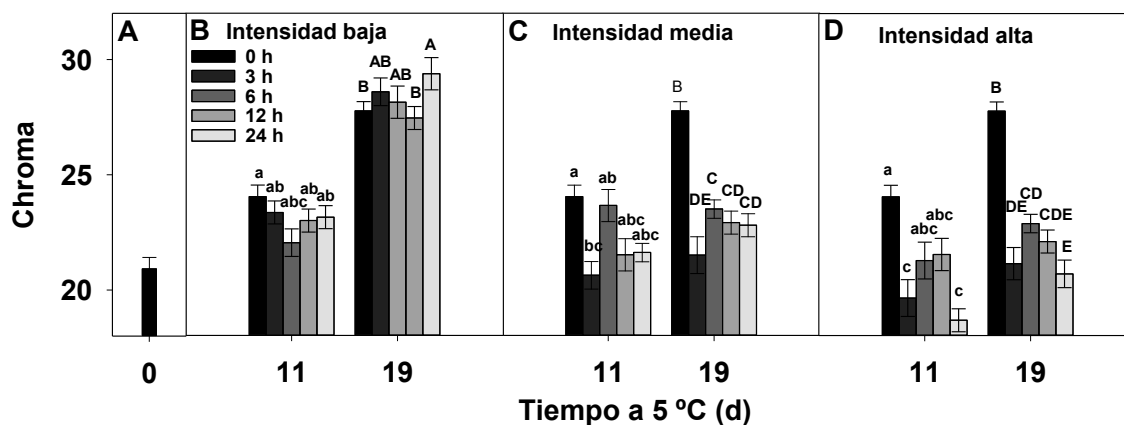


Figura 15: Saturación cromática (Chroma). Cosecha, A. Brócoli expuesto a luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras minúsculas y mayúsculas indican diferencias significativas entre las medias después de 11 y 19 días de almacenamiento, respectivamente, basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

3.3.3. Clorofilas

Los cambios en clorofilas (Chl) totales durante el almacenamiento se muestran en la **Figura 16** para cada condición de exposición a la luz. Luego de 11 días a 5 °C, se encontraron pérdidas moderadas (10-20%) en el control y el brócoli tratado con baja intensidad. En tiempos más largos, el contenido de clorofila de las muestras almacenadas en oscuridad mostró una disminución rápida.

La caída en la clorofila total registrada en el brócoli control resultó de ambas pérdidas de Chl a y Chl b (**Figura 17**). Sin embargo, la degradación de Chl b pareció iniciar antes que la de Chl a. Esto estaría en línea con los resultados informados por **Folley & Engel (1999)**. Los cambios en clorofilas de las muestras de brócoli expuestas a la luz mostraron una tendencia similar a lo descrito para el color superficial. Los tratamientos con fuentes de luz de baja intensidad fueron ineficaces para retrasar la degradación de clorofilas, a diferencia de los tratamientos de intensidad media y alta, que notablemente no mostraron pérdidas significativas en el contenido de dichos pigmentos verdes.

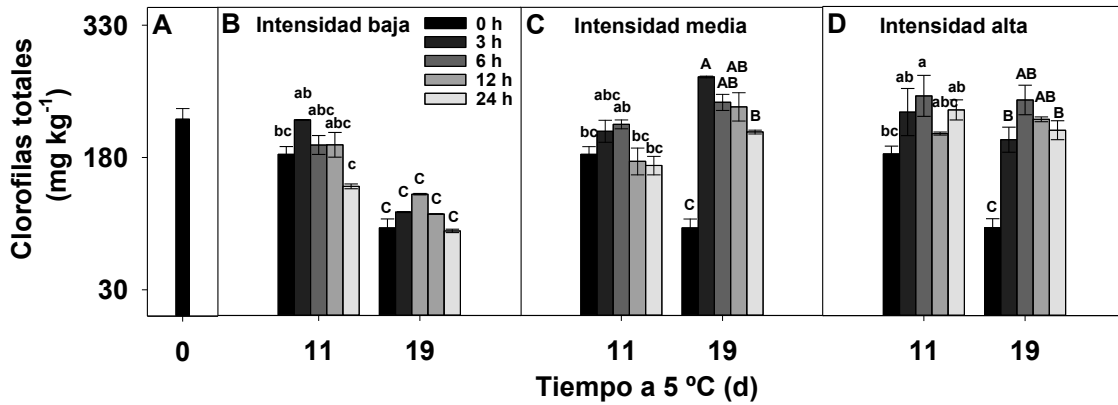


Figura 16: Clorofila total. Cosecha, A. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante el almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras minúsculas y mayúsculas indican diferencias significativas entre las medias después de 11 y 19 días de almacenamiento, respectivamente, basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Se registró una ligera reducción en Chl b en los tratamientos de exposición continua de alta intensidad, pero sólo hacia el final del almacenamiento. En general, el tiempo de exposición a la luz tuvo un bajo impacto en los niveles de clorofila. Por lo tanto, para tratamientos de intensidades en el rango de 9,5 a 19,0 $W m^{-2}$ y tiempos de exposición a la luz de tan solo de 3 h serían suficientes para reducir la degradación de clorofila y el deterioro del color, al tiempo que se minimizaría la pérdida de agua. En general, los resultados muestran que la intensidad de la radiación y el tiempo de exposición son factores importantes para determinar la eficacia de los tratamientos de luz LED blanca para retrasar la deshidratación y el amarillamiento del brócoli mínimamente procesado.

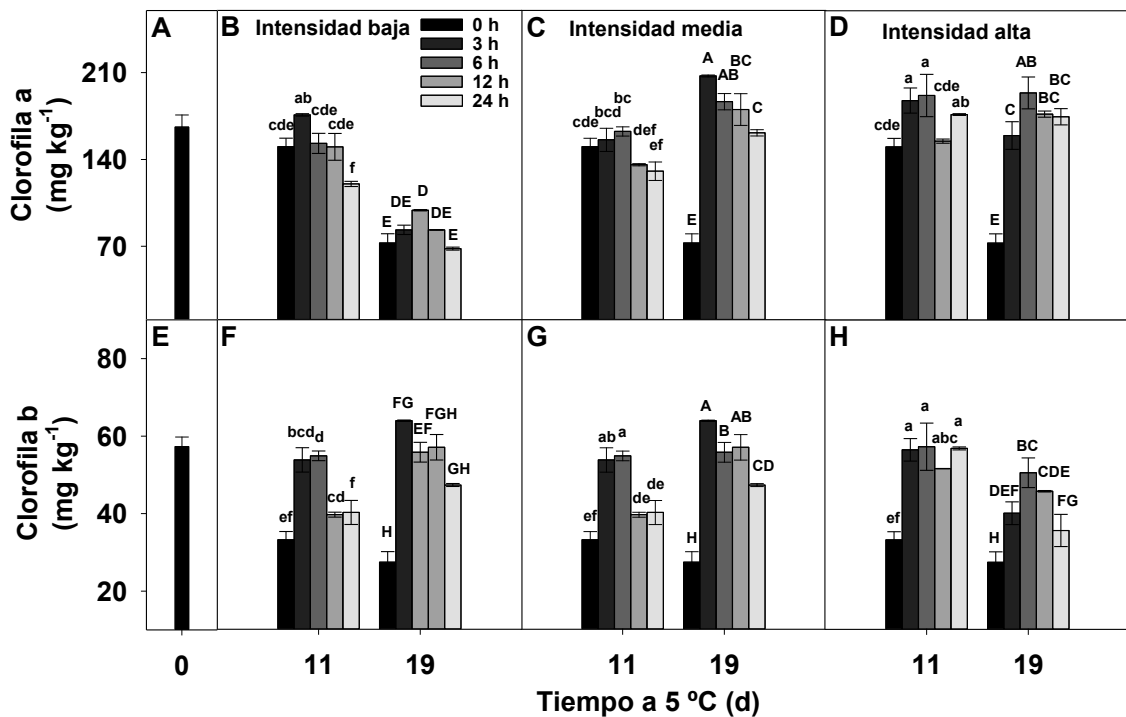


Figura 17: Clorofila a. Cosecha, A. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad baja, B, media, C o alta, D. Clorofila b. Cosecha, E. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad baja, F, media, G o alta, H. Para 0 (control) 3, 6, 12 o 24 h por día durante el almacenamiento durante 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras minúsculas y mayúsculas indican diferencias significativas entre las medias después de 11 y 19 días de almacenamiento, respectivamente, basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Para avanzar más en el entendimiento del efecto de la exposición a la luz durante la poscosecha, se estudió el efecto de la exposición a luz de media y alta intensidad por 3 h diarias sobre los azúcares y compuestos antioxidantes del brócoli mínimamente procesado almacenado. Se eligieron estas condiciones por ser las más eficientes y eficaces para mantener el color (**Figura 18**) sin propiciar una elevada pérdida de agua. Los resultados se exponen y discuten a continuación.

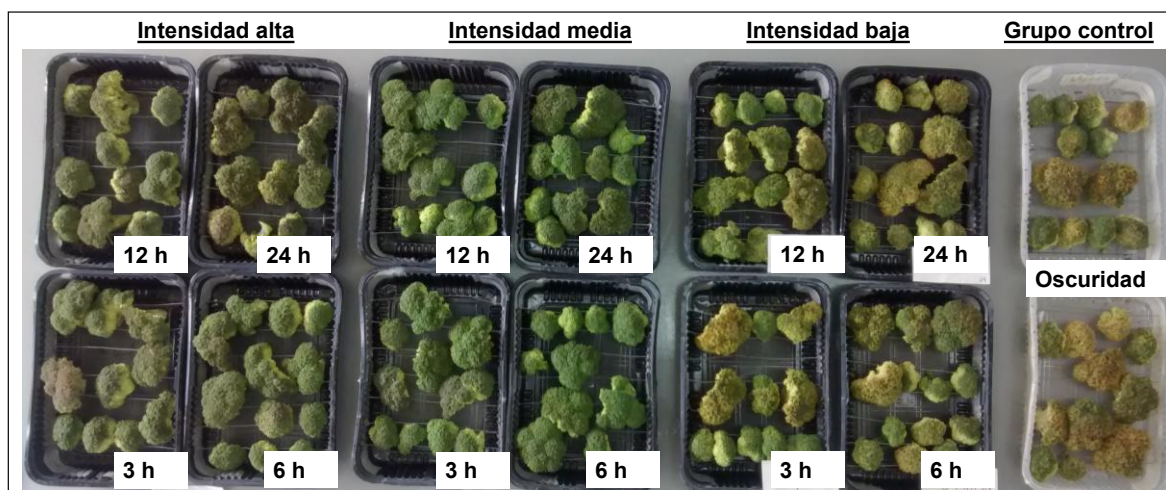


Figura 18: Brócoli mínimamente procesado expuesto a la luz LED de baja, media y alta intensidad por 3, 6, 12 o 24 h; por 19 días, junto al grupo control almacenado en oscuridad 24 h.

3.3.4. Azúcares

Los azúcares pueden cambiar drásticamente durante la poscosecha de brócoli (Lemoine *et al.*, 2009; Rybarczyk-Plonska *et al.*, 2014), por lo que fueron monitoreados durante el almacenamiento. La concentración de azúcares solubles totales fue 14 g kg^{-1} antes del almacenamiento (Figura 19). La sacarosa, glucosa y fructosa presentaron niveles relativos similares (Figura 20). Se observó que con el almacenamiento la sacarosa disminuyó en mayor medida que los monosacáridos. Esto pudo resultar de la hidrólisis catalizada por la enzima invertasa, involucrada en la regeneración de monosacáridos necesarios para la respiración (Eason *et al.*, 2007). Aunque el contenido de azúcares totales mostró una tendencia decreciente en las tres condiciones de exposición a la luz, la velocidad de pérdida de azúcares varió entre los tratamientos. Luego de 19 días de almacenamiento, el control almacenado en oscuridad perdió el 80% de su contenido de azúcares, mientras que las muestras expuestas a la luz mantuvieron los niveles de azúcares en torno al 50% de su valor inicial. En línea con estos resultados y en comparación al almacenamiento en oscuridad, la

exposición a la luz contribuyó a mantener mayores niveles de azúcares en apio (Zhan *et al.*, 2014a), kale (Noichinda *et al.*, 2007) y espinaca (Toledo *et al.*, 2003). La base de este efecto que parece una respuesta consistente entre especies, no se entiende completamente.

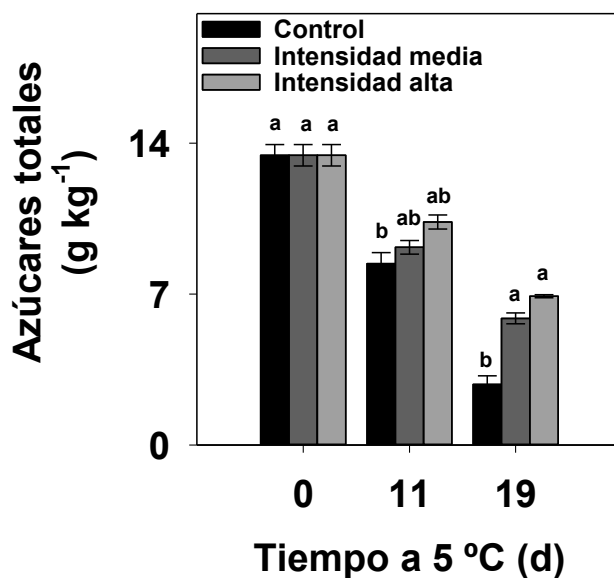


Figura 19: Azúcares totales. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad media o alta durante 0 (control) o 3 h por día durante el almacenamiento por 0, 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre las medias para un tiempo de almacenamiento dado basado en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Se ha demostrado que la tasa de respiración de los vegetales frescos aumenta antes de la senescencia (Costa *et al.*, 2006). Entonces, esta mayor demanda de energía afectaría las reservas de carbono de las células y contribuiría a explicar el menor contenido de azúcares del brócoli almacenado en ausencia de luz. Por otro lado, algunos autores han especulado con que los tejidos verdes cosechados pueden mantener cierta actividad fotosintética al menos en los momentos iniciales de almacenamiento (Toledo *et al.*, 2003; Noichinda *et al.*, 2007; Charles *et al.*, 2018). Llamativamente, pocos estudios han respaldado

esto con la medición directa de la fijación de CO₂ realizada a temperaturas de almacenamiento.

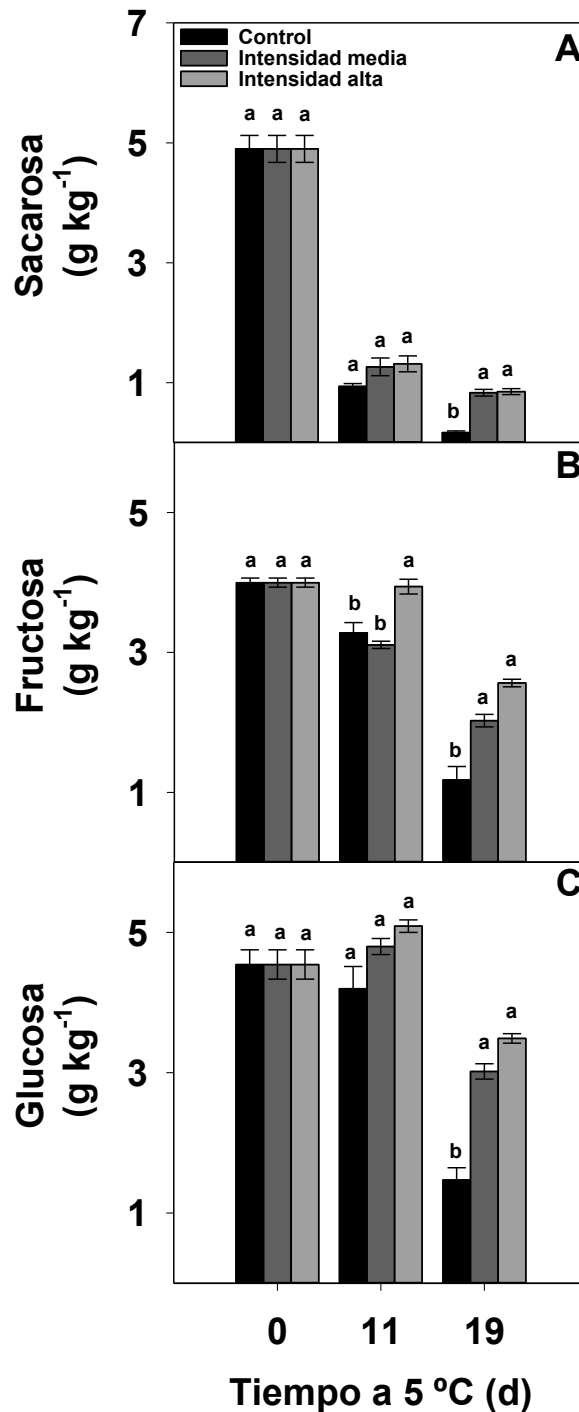


Figura 20: Sacarosa, A; Fructosa, B y Glucosa, C. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad media o alta durante 0 (control) o 3 h por día durante el almacenamiento por 0, 11 o 19 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre las medias para un tiempo de almacenamiento dado basado en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

3.3.5. Antioxidantes

Además de los elevados niveles de glucosinolatos alifáticos, compuestos ricos en azufre derivados del aminoácido metionina (Yang *et al.*, 2022), el brócoli es valorado por su contenido de antioxidantes, compuestos que han sido relacionados a efectos beneficiosos sobre la salud cuando se incorporan a la dieta (Bjorkman *et al.*, 2011; Ma *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2017). Durante el almacenamiento refrigerado los compuestos antioxidantes pueden perderse significativamente, incluso con un manejo adecuado de la temperatura (Lemoine *et al.*, 2009; Rybarczyk-Plonska *et al.*, 2014). Por lo tanto, en el presente trabajo monitoreamos los cambios en el ácido ascórbico (AsA), los carotenoides totales y los compuestos fenólicos en respuesta a la exposición a la luz blanca luego de la cosecha. El contenido de AsA disminuyó un 80% luego de 11 días de almacenamiento y un 95% en la última fecha de muestreo en muestras control almacenadas en la oscuridad (Figura 21 A). Se encontró un claro efecto protector derivado de la exposición a la luz. Al final del período de almacenamiento el contenido de AsA fue 5 veces mayor en los brócolis expuestos a la luz en comparación al control. Estos resultados están en línea con los reportados por Zhan *et al.* (2014a), quienes detectaron mayores contenidos de AsA en la coliflor almacenada en luz en comparación con un control almacenado en la oscuridad. Ma *et al.* (2014), encontraron que la exposición a la luz puede aumentar la expresión de genes biosintéticos de AsA en el brócoli. Sin embargo, en otro estudio, Rybarczyk-Plonska *et al.* (2014) no encontraron diferencias en AsA entre las cabezas de brócoli almacenadas en la oscuridad o iluminadas con luz blanca 12 h por día. Estos resultados dispares en el contenido de AsA pueden obedecer en parte a las diferencias en las

intensidades de luz utilizadas para los tratamientos de iluminación. De hecho, en el presente estudio, la retención de AsA difirió entre los tratamientos de iluminación de intensidad media y alta, siendo el primero más efectivo. Además de la posible inducción de la biosíntesis de AsA por efecto de la luz sugerida anteriormente, un aumento de las especies reactivas de oxígeno (ROS) que agoten el ascorbato también puede explicar el peor rendimiento de las muestras tratadas con luz de alta intensidad en comparación con el brócoli expuesto a la intensidad media (**Sharma y Dubey, 2004**). Serían útiles estudios futuros que determinen la influencia de la intensidad de la luz en la ruta biosintética de AsA y el catabolismo en productos refrigerados. El contenido de carotenoides no mostró cambios en el control durante el almacenamiento. En contraste, los tratamientos con luz de intensidad media y alta mostraron una tendencia creciente (**Figura 21 B**). Esto está en línea con **Hasperué et al. (2016a)**, quienes encontraron la acumulación de carotenoides durante el almacenamiento de cabezas de brócoli expuestas de forma continua a luz blanca-azul.

También se ha informado que la exposición a la luz en poscosecha induce la acumulación de carotenoides en las hojas externas de repollito de bruselas (**Hasperué et al., 2016b**) y en hojas de kale refrigerada (**Noichinda et al., 2007**). Se sabe que la luz es uno de los principales factores implicados en la biosíntesis de carotenoides, al menos en la planta (**Lichtenthaler, 2007; Jones, 2018**).

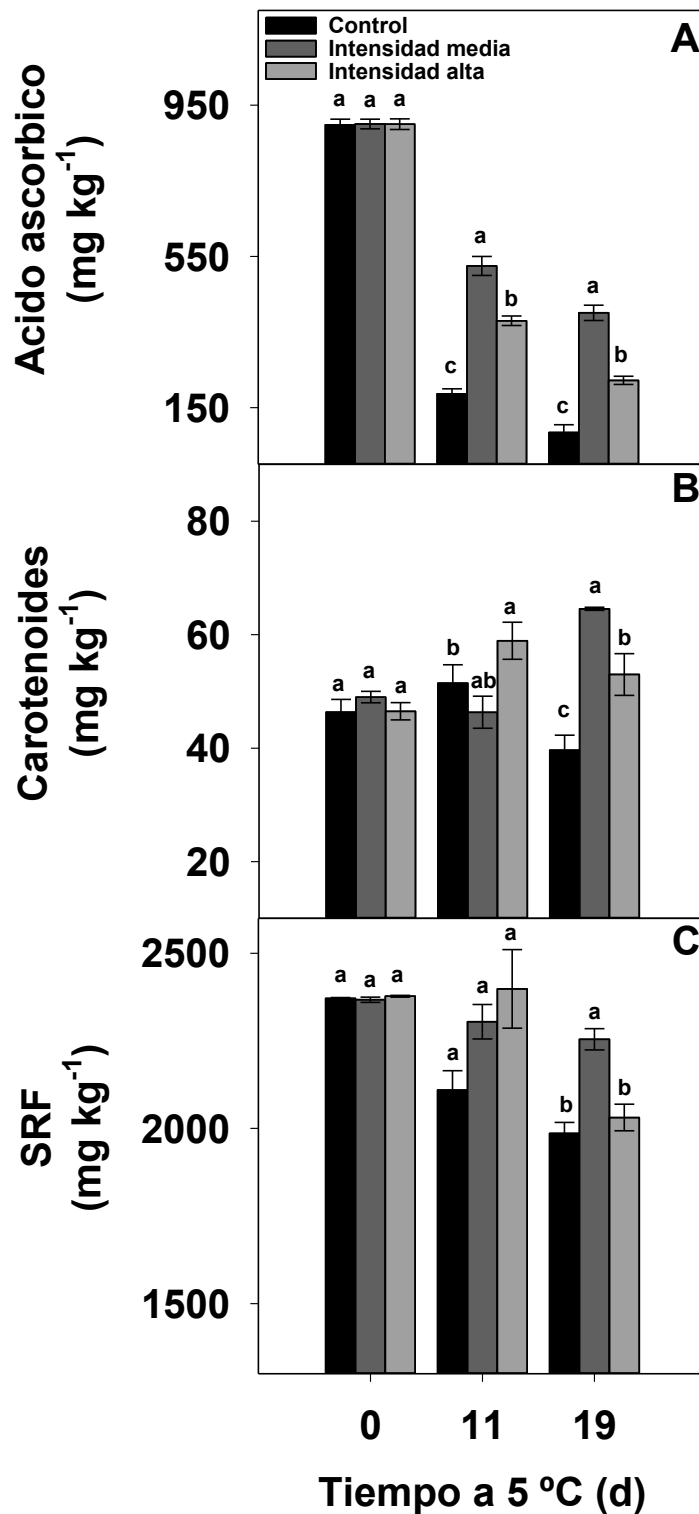


Figura 21: Ácido ascórbico, A; Carotenoides, B y sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF), C. Brócoli expuesto a la luz blanca de intensidad media o alta durante 0 (control) o 3 h por día durante el almacenamiento durante 0, 11 o 19 d a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre las medias para un tiempo de almacenamiento dado basado en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Finalmente, los niveles de compuestos fenólicos mostraron una tendencia decreciente durante el almacenamiento (**Figura 21 C**). El brócoli expuesto a luz de intensidad media mantuvo, al final del período de almacenamiento, niveles más altos de compuestos fenólicos que el control. Esto está en línea con el trabajo informado por **Zhan et al. (2014b)**, quienes encontraron, en coliflor, que la exposición a la luz después de la cosecha puede inducir la actividad fenilalanina amonio liasa, mientras que inhibe la polifenoloxidasas y la peroxidasa.

3.4. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados indican que tanto la intensidad de iluminación como así también el tiempo de exposición son dos factores importantes que determinan la eficacia de los tratamientos de exposición a la luz en brócoli refrigerado. La exposición a una luz LED blanca de intensidad media ($9,5 \text{ W m}^{-2}$) durante 3 h diarias fue especialmente efectiva en retrasar la degradación de la clorofila y las pérdidas de azúcares. Dicha condición también puede impactar positivamente en el contenido de carotenoides, ácido ascórbico y compuestos fenólicos. En general, los resultados muestran que los tratamientos de iluminación con LED blanco ($9,5 \text{ W m}^{-2}$, en el rango 3 a 12 h diarias) podrían ser recomendados como una estrategia no química efectiva para extender la vida útil y conservar la calidad nutracéutica del brócoli mínimamente procesado.

Capítulo 4

Efecto de la exposición a la luz por períodos cortos sobre la calidad de brócoli entero

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS

-Evaluar el efecto de la exposición a luz LED blanca fría de intensidad media (9,5 W m⁻²) por períodos cortos (3 h al día) sobre la senescencia poscosecha de brócoli entero.

-Hipótesis

La exposición por tiempos cortos a la luz retrasa la senescencia de las inflorescencias de brócoli enteras.

-Determinar el impacto de la exposición a luz de intensidad media por períodos cortos sobre el contenido de compuestos relacionados con la calidad nutricional del brócoli entero.

-Hipótesis

La exposición corta a la luz durante el almacenamiento retrasa la pérdida de nutrientes de las inflorescencias de brócoli.

4.2. INTRODUCCIÓN

En el **Capítulo 3** analizamos el efecto de diferentes tiempos de exposición e intensidades de luz sobre la calidad de brócoli mínimamente procesado (**Pintos et al., 2020**). Esos resultados aportan más evidencia sobre el potencial uso de la luz como una herramienta de particular interés para retrasar la senescencia de vegetales durante el período de poscosecha (**Zhan et al., 2012; Liu et al., 2015; Büchert et al., 2011; Ma et al., 2014; Hasperué et al., 2016b, Liu et al., 2015; Jin et al., 2015; Favre et al., 2018**). En particular, encontramos no solo que la intensidad de luz es una variable importante a considerar, sino que, además, en brócoli procesado la exposición fraccionada a la luz puede tener mayores beneficios en comparación a la exposición continua a la luz o la oscuridad. El hecho de que estas variables tengan un impacto tan marcado en la efectividad de los tratamientos con luz puede ayudar a explicar la discrepancia encontrada entre algunos trabajos realizados (**Charles et al., 2018; Olarte et al., 2009; Sanz et al., 2009; Xiao et al., 2014**). Desde el punto de vista tecnológico, conocer el tiempo de exposición y la intensidad de exposición a la luz para cada producto y condición de almacenamiento puede ser de vital importancia para una aplicación práctica exitosa de estos tratamientos. En el caso específico de cabezas de brócoli entero, los tratamientos con luz se han estudiado mayormente durante el almacenamiento a temperaturas mayores a las recomendadas (**Favre et al., 2018; Ma et al., 2014**). En tanto que los estudios que han evaluado la luz como un complemento de la refrigeración, lo han hecho exponiendo los vegetales de manera continua (**Hasperué et al., 2016a; Loi et al., 2019**). Aunque dicha condición ha sido en general eficaz, puede no ser la más efectiva en cuanto a pérdida de peso del vegetal y a consideraciones de

índole energética. Sobre este último aspecto cabe destacar que si bien las fuentes de luz basadas en tecnología LED son eficientes en cuanto a su consumo energético y generan poco calor (**Sipos et al., 2020**), la iluminación continua en escala comercial podría significar un gasto considerable en el almacenamiento refrigerado prolongado. El objetivo en esta etapa de la tesis fue evaluar si tratamientos relativamente cortos (3 h de luz por día) de exposición a la luz LED blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ resultan de utilidad para mejorar la vida poscosecha y conservar la calidad de cabezas de brócoli almacenadas a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 93% HR.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Color y Clorofilas (Chl)

Dado que la pérdida del color verde es la principal limitante en la vida poscosecha del brócoli (**Aiamla-or et al., 2010**), en primera instancia evaluamos el efecto de la aplicación de 3 h diarias de luz LED blanco frío de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ seguido de un período de oscuridad de 21 h sobre la luminosidad (L^*) y el Hue $^{\circ}$ (**Figura 22**) durante el almacenamiento refrigerado ($5 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Luego de 13 días, los brócolis expuestos a la luz tuvieron mayor Hue $^{\circ}$ en comparación a los almacenados en oscuridad. Esta diferencia se mantuvo a lo largo del almacenamiento de 22 días. Los valores del parámetro L^* se elevaron hacia el final del almacenamiento en los brócolis en oscuridad, mientras que los expuestos a la luz no tuvieron dicho incremento del L^* . El tratamiento fue eficaz en retrasar la pérdida de color del brócoli refrigerado. Estos resultados concuerdan con otros trabajos que han utilizado luz blanca en forma continua o fraccionada para retrasar la senescencia en brócoli a temperatura ambiente (**Büchert et al., 2011; Jin et al., 2015; Favre et al., 2018**). Contrariamente, **Ma**

et al., (2014), al analizar el efecto de la exposición a luz LED compuesta blanca/roja, no encontraron efectos favorables en cuanto al desarrollo del proceso de amarillamiento de brócoli, sin embargo, sí encontraron mayor contenido de ascorbato (AsA) luego de dos días a 20 °C. En tanto que **Hasperué et al. (2016a)** encontraron que la exposición continua a una combinación de luz LED compuesta blanco-azul de aproximadamente la mitad de intensidad a la utilizada aquí (4 W m^{-2}), fue efectiva para retrasar las pérdidas de clorofila y color en brócolis refrigerados. Sin embargo, estos autores encontraron una mayor tendencia a la pérdida de peso derivada de la exposición continua a la luz en relación a los brócolis almacenados en oscuridad.

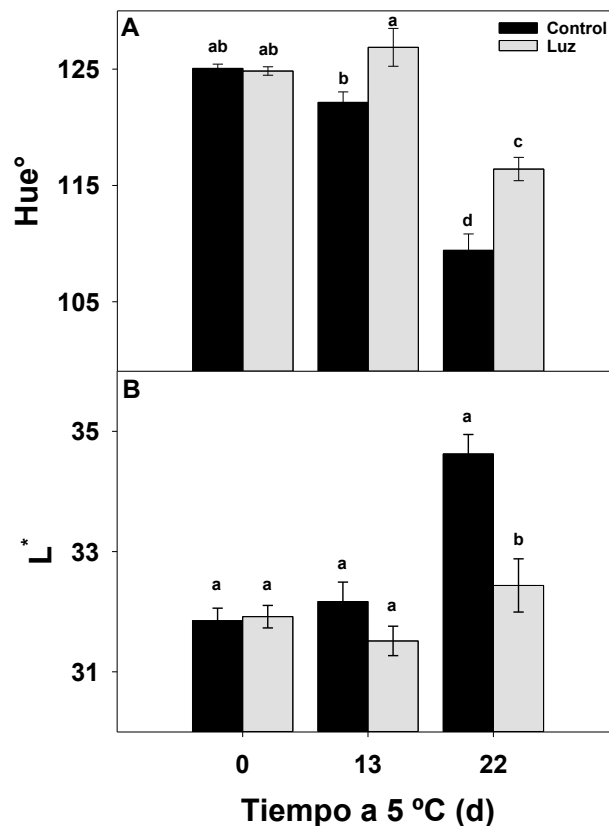


Figura 22: Angulo Hue°, A. Luminosidad (L*), B. De las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a $9,5 \text{ W m}^{-2}$ de luz blanca 3 h por día. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Antes del almacenamiento, el contenido total de Chl en brócoli era de 210 mg kg⁻¹ (**Figura 23**). Los niveles de Chl siguieron el mismo patrón que el color superficial. No se encontraron cambios en Chl después de 13 días independientemente de la exposición a la luz. Al final del almacenamiento, la luz provocó mayores diferencias en los pigmentos de Chl. El contenido de Chl del brócoli se redujo un 50% en la oscuridad, mientras que el brócoli expuesto a la luz mantuvo sus niveles iniciales de Chl. La relación Chl a/b permaneció sin cambios durante todo el almacenamiento, independientemente del tratamiento con luz (**Figura 23**). La exposición a la luz retrasó la degradación del color verde durante el almacenamiento a temperatura ambiente en algunos productos de hojas (**Liu et al., 2015**) y brócoli (**Favre et al., 2018**). La exposición a la luz puede retrasar la expresión de algunas enzimas del catabolismo de Chl (**Jiang et al., 2019**). En brócoli, la exposición a la luz como complemento de la refrigeración se ha aplicado principalmente de forma continua. Esta estrategia conservó el color verde del brócoli (**Hasperué et al., 2016a**) y la lechuga (**Kasim y Kasim, 2017**). Se han informado efectos adversos en algunos productos expuestos a la luz por períodos prolongados. Un tratamiento con luz continua condujo a un incremento en la tasa respiratoria y el metabolismo, acelerando la senescencia (**Olarte et al., 2009**) y pérdida de peso por transpiración (**Loi et al., 2019; Zhan et al., 2012**). Una breve exposición a la luz podría evitar estos efectos adversos.

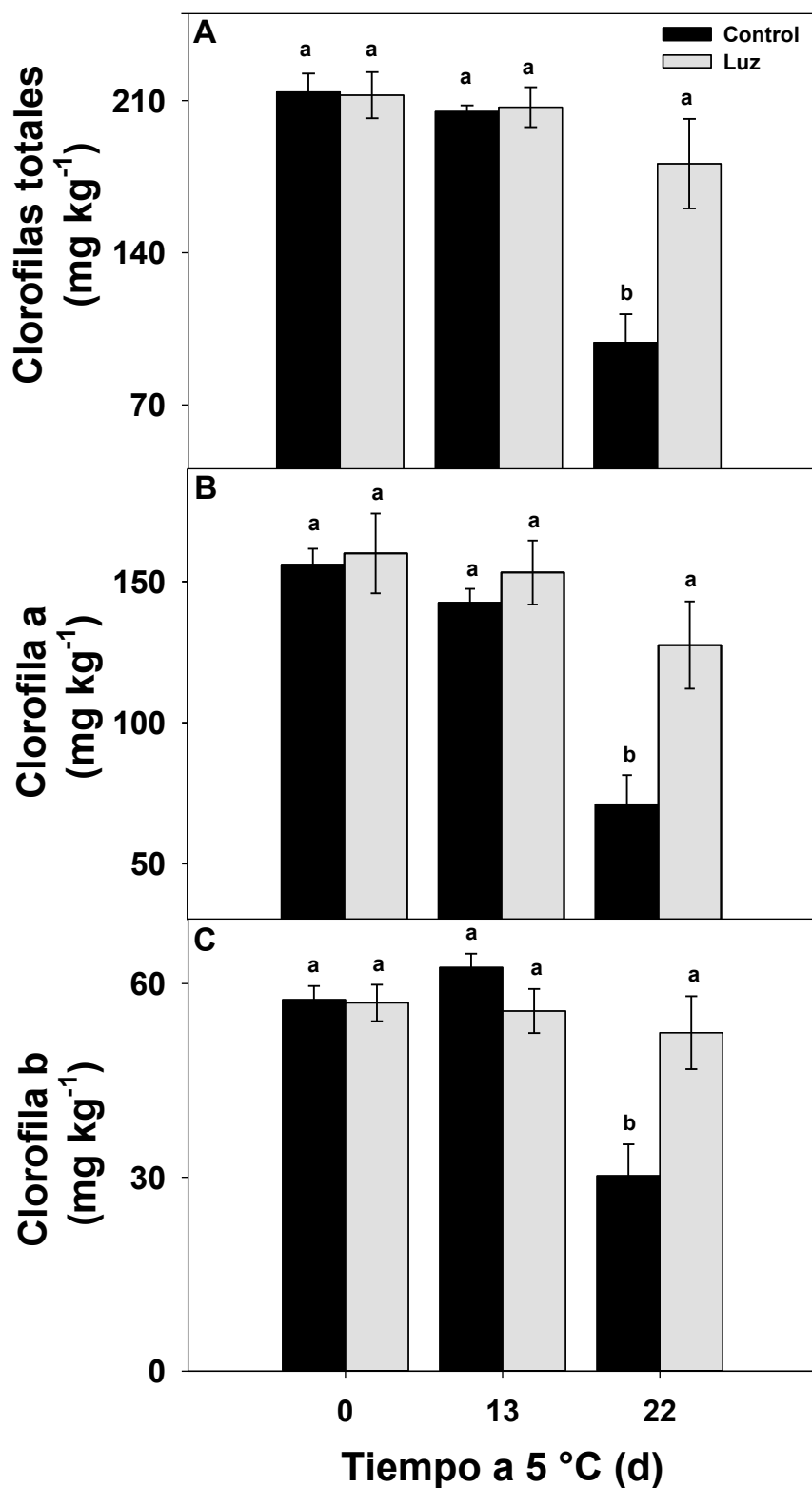


Figura 23: Clorofilas totales, A. Clorofila a, B. Clorofila b, C. De cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m⁻² de luz blanca 3 h por día. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre medias según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

4.3.2. Pérdida de peso y tasa respiratoria.

La **Tabla 3** muestra la pérdida de peso y la tasa respiratoria de las cabezas de brócoli durante el almacenamiento. La pérdida de peso rondó el 3 y 5,5% luego de 13 y 22 días, sin diferencias entre los tratamientos. Otros autores han informado un incremento en la pérdida de peso como un efecto colateral de los tratamientos con luz, inclusive en los tratamientos por períodos cortos de tiempo. Por ejemplo, **Favre et al., (2018)** utilizó una intensidad de luz y un período de exposición inferiores a los utilizados aquí (2 h), e informaron el doble de pérdida de peso en los brócolis expuestos a la luz en comparación a los almacenados en oscuridad. La diferencia en términos absolutos de pérdida de agua puede deberse a las condiciones de almacenamiento. Concretamente en dicho estudio el material vegetal se almacenó a temperatura ambiente, mientras que en el presente trabajo los brócolis se almacenaron a 5 °C. Igualmente, en otros trabajos la exposición a la luz en forma continua también ha estimulado la pérdida de agua aún en condiciones de baja temperatura (**Zhan et al., 2012; Hasperué et al., 2016a**). Dado que los sépalos del brócoli poseen estomas (**Kinoshita et al., 2001; Kunkel et al., 2019**), se ha adjudicado a la apertura estomática la mayor pérdida de peso mediada por la luz (**Noichinda et al., 2007**). Aunque la inflorescencia de brócoli tiene un importante cantidad de ceras superficiales, posee un área considerable de sépalos que hace que el tejido sea vulnerable a la pérdida de agua, lo que resulta en una pérdida de calidad (**Coupe et al., 2003**), siendo los pedicelos de la flor el primer tejido que se vuelve flácido. Igualmente, el rol de los estomas en el intercambio gaseoso durante la poscosecha no se conoce en profundidad. En este estudio, los brócolis fueron

almacenados a baja temperatura y expuestos solo a 3 h de luz por día, factores que probablemente evitaron un impacto negativo en la pérdida de peso.

La tasa respiratoria de los brócolis se mantuvo entre 31,5 y 34,6 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ durante los primeros 13 días (**Tabla 3**). Hacia el final del almacenamiento, la tasa respiratoria se redujo levemente y no se encontraron diferencias entre tratamientos. Este descenso en la respiración hacia el final del almacenamiento refrigerado ha sido informado previamente en brócoli, y al parecer, no se correlaciona con el grado de deterioro en este producto (**Lemoine et al., 2009**). En forma similar a la pérdida de peso, se ha reportado que la exposición a la luz puede incrementar la tasa respiratoria de los vegetales durante el almacenamiento, dado que teóricamente favorece el intercambio gaseoso vía estomas (**Ayala et al., 2009**). En este estudio, no se registraron cambios significativos en la tasa respiratoria derivados de la exposición a la luz. El tratamiento con luz blanca de 9,5 W m⁻² por 3 h diarias logró conservar el color de los brócolis sin incrementar la pérdida de peso ni la tasa respiratoria.

Tabla 3: Pérdida de peso y tasa respiratoria durante el almacenamiento a 5 °C de cabezas de Brócoli en oscuridad o expuestas a luz de 9,5 W m⁻², 3 h por día. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

	Tiempo a 5 °C (d)	Pérdida de peso (%)	Tasa respiratoria (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)
Oscuridad	0	-	32,0 ± 1,0 a
	13	3,4 ± 0,6 b	31,6 ± 0,9 a
	22	5,7 ± 0,8 a	20,5 ± 2,8 b
Luz	0	-	31,5 ± 0,2 a
	13	2,9 ± 0,4 b	34,6 ± 1,3 a
	22	5,2 ± 0,5 a	24,4 ± 3,3 b

4.3.3. Carotenoides

El contenido de carotenoides del brócoli almacenado en luz aumentó un 50% en la última fecha de muestreo, mientras que no hubo variaciones en los controles almacenados en la oscuridad (**Figura 24**). Se sabe que la luz es un efector que induce la biosíntesis de carotenoides. Los carotenoides eliminan $^1\text{O}_2$ (oxígeno *singlete*), protegiendo el centro de reacción fotosintético contra la fotooxidación (**Wulfkuehler et al., 2014**). También se ha informado una acumulación de carotenoides (**Zhang et al., 2020**) bajo exposición continua a la luz en hojas exteriores de repollitos de Bruselas (**Hasperué et al., 2016**) y en hojas de kale refrigeradas (**Noichinda et al., 2007**). Esta acumulación de carotenoides puede mejorar la calidad nutricional del brócoli, dado que al tener estos compuestos dobles enlaces conjugados, pueden reaccionar con radicales libres y oxígeno *singlete* (**Young y Lowe, 2018**)

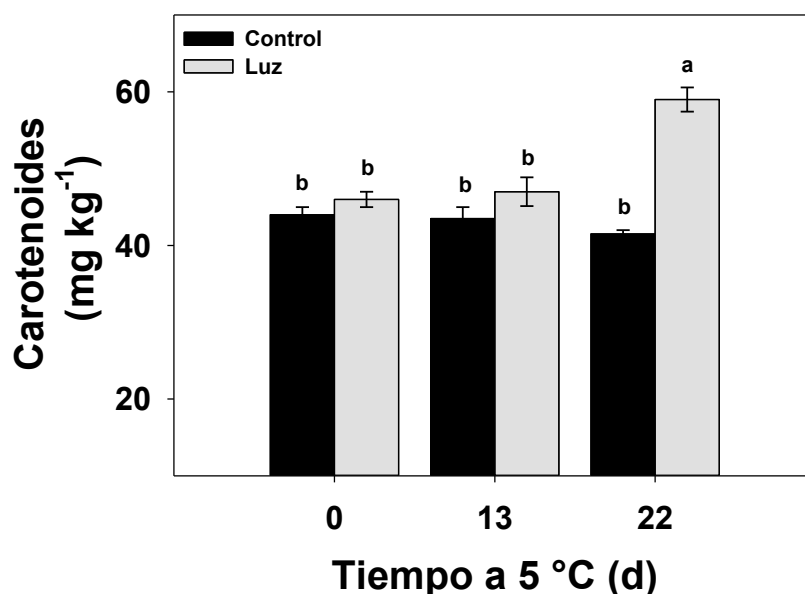


Figura 24: Contenido de carotenoides totales de cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m^{-2} de luz blanca, 3 h por día. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre medias basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

4.3.4. Azúcares

Durante el almacenamiento, los azúcares disminuyeron de forma continua (Figura 25). Al inicio los niveles de glucosa, fructosa y sacarosa rondaron respectivamente los 8; 5,5 y 4,5 g kg⁻¹ (Figura 26). Luego de 13 días, los azúcares se redujeron un 42% en las muestras almacenadas en oscuridad, mientras que en los brócolis expuestos a la luz, dicha reducción fue sólo de 17%. En ese período, el descenso más marcado fue el de la sacarosa, probablemente por la elevada actividad de la enzima invertasa en estos vegetales (Eason *et al.*, 2007).

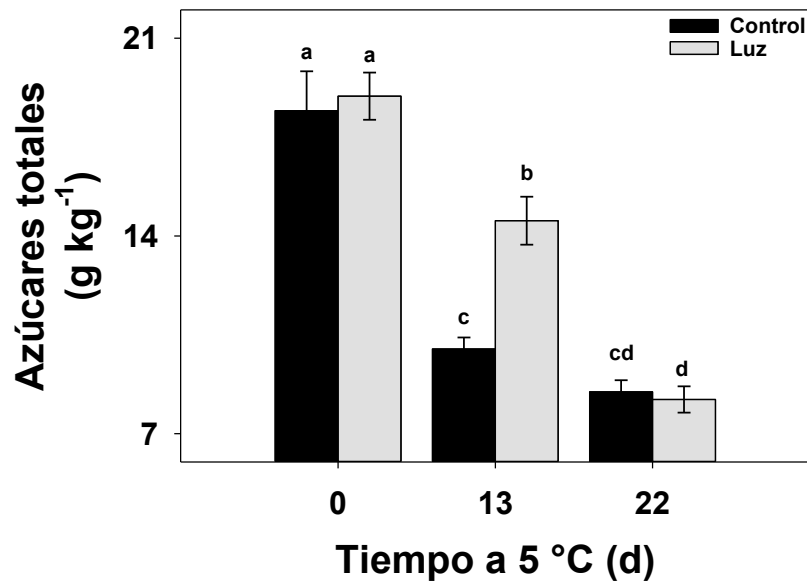


Figura 25: Contenido de azúcares totales de las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m⁻² de luz blanca 3 h por día. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

El tratamiento con luz logró desacelerar la pérdida de sacarosa, de glucosa y fructosa, que se mantuvieron prácticamente constantes luego de 13 días, mientras que estos se redujeron aproximadamente un 40% en los brócolis almacenados en oscuridad. Similar retraso en la degradación de azúcares fue encontrado en apio (**Zhan et al., 2014a**), kale (**Noichinda et al., 2007**) y espinaca (**Toledo et al., 2003**) refrigerados. Ya hacia el final del almacenamiento, no se detectaron diferencias en los azúcares analizados. Algunos trabajos han adjudicado la menor senescencia en brócoli con el mantenimiento de los niveles de azúcares (**Hasperué et al., 2011; Jani y Mankad, 2013**). Aquí, hubo diferencias en el grado de deterioro al final del almacenamiento, pero sin diferencias en el contenido de azúcares. El mayor nivel de azúcares encontrado en los brócolis expuestos a la luz podría adjudicarse a una menor tasa respiratoria y demanda de carbono propiciada por la luz (**Costa et al., 2006**). Sin embargo, este no fue el caso, dado que no se registraron cambios en la tasa respiratoria de los brócolis derivados de la luz (**Tabla 3**).

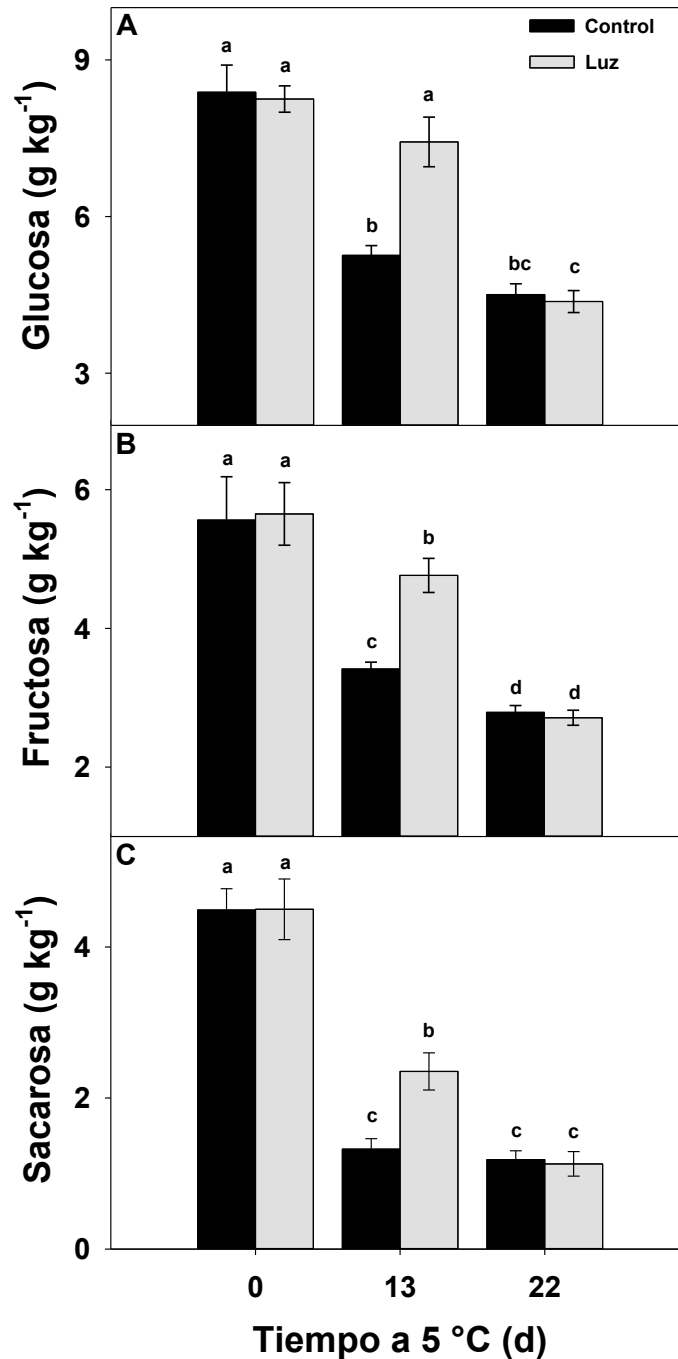


Figura 26: Contenido de Glucosa, A. Fructosa, B. Sacarosa, C. De las cabezas de brócoli almacenadas a 5°C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a $9,5\text{ W m}^{-2}$ de luz blanca, 3 h por día. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Además, la exposición a la luz se ha relacionado más con un incremento en la tasa respiratoria que con un descenso de la misma (Ayala *et al.*, 2009), lo que conduciría a una mayor demanda de azúcares. Se ha especulado sobre la

actividad fotosintética en los vegetales verdes luego de la cosecha (**Toledo et al., 2003; Noichinda et al., 2007; Charles et al., 2018**). Esta posibilidad, que si bien puede ser factible, tendría un efecto muy limitado en la síntesis de azúcares por el corto período de iluminación de 3 h. Otros estudios encontraron que la luz puede inducir movimiento de solutos, entre ellos azúcares, desde un sitio del vegetal a otro expuesto a la luz (**Magwaza et al., 2013**). En el presente trabajo se midió el contenido de azúcares en los primordios florales, por lo cual, es posible que haya ocurrido migración de azúcares desde los tallos, compensando en parte la pérdida de azúcares en los primordios florales. Otros estudios son necesarios para entender mejor el mecanismo por el cual la luz tiende a conservar mayores niveles de azúcares en brócoli.

4.3.5. Antioxidantes

El brócoli es considerado un vegetal con excelentes propiedades nutricionales debido a su elevado contenido de antioxidantes y glucosinolatos (**Wang et al., 2017**). En el presente trabajo se analizó el contenido de fenoles totales (sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu; SRF) y el ácido ascórbico (AsA) ya que varían considerablemente durante el almacenamiento (**Lemoine et al., 2009; Rybarczyk-Plonska et al., 2014**), mientras que los glucosinolatos son relativamente estables en refrigeración (**Winkler et al., 2007**).

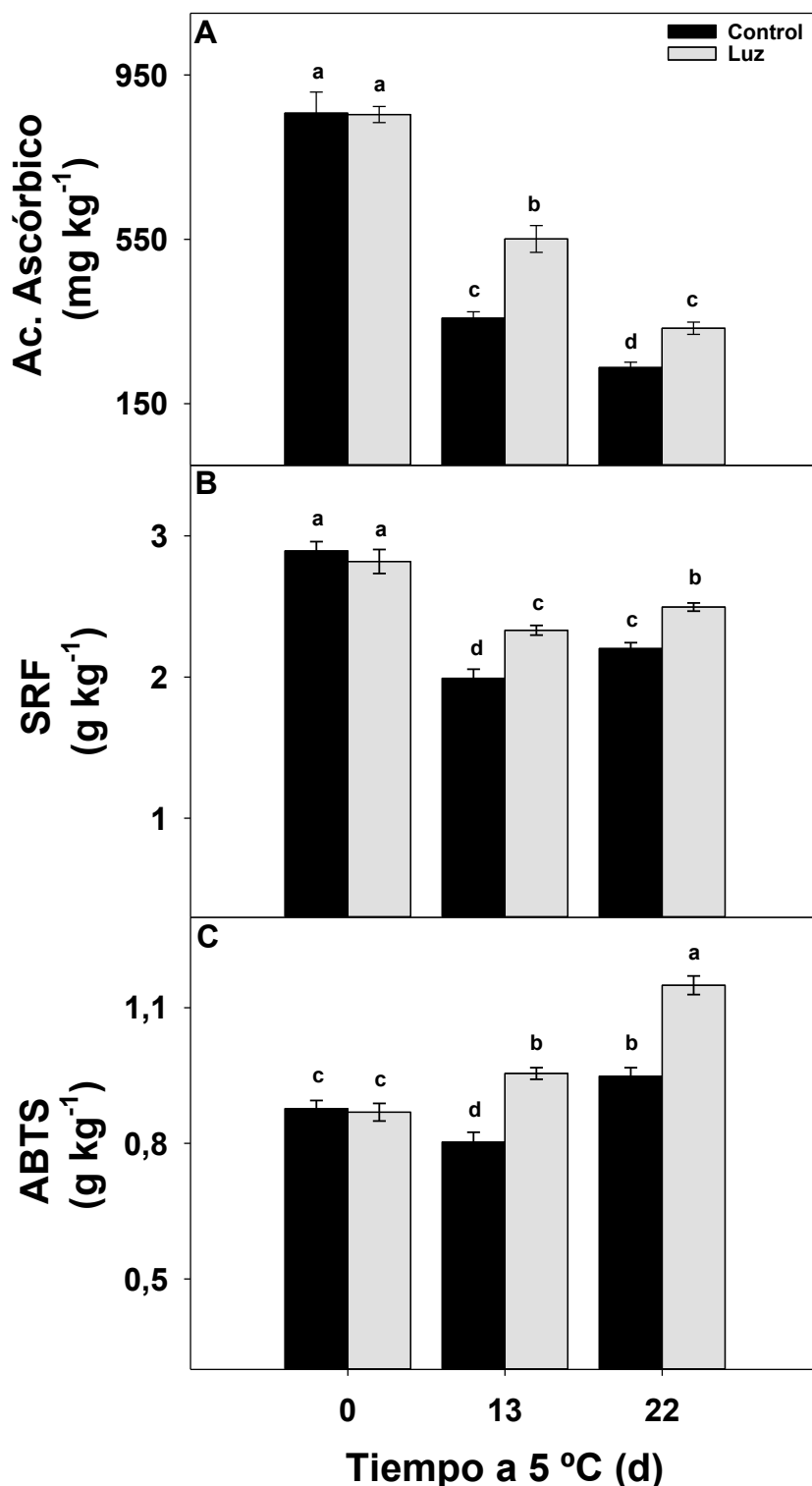


Figura 27: Contenido de Ac. Ascórbico, A. Sustancias reactivas al reactivo de Folin (SRF), B. Antioxidantes por ABTS⁺, C. De las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C durante 0, 13 y 22 días en la oscuridad o expuestas a 9,5 W m⁻² de luz blanca, 3 h por día. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia $p < 0,05$.

El contenido de AsA luego de la cosecha fue de 850 mg kg^{-1} , y experimentó una marcada reducción durante el almacenamiento, la que fue atenuada en los brócolis expuestos a la luz (**Figura 27**). Luego de 13 días, el AsA se redujo un 60% en los brócolis almacenado en oscuridad, mientras que la luz redujo las pérdidas de este compuesto a la mitad. Esta diferencia, aunque aún significativa, fue algo menos marcada luego de 22 días. Se ha informado que la luz puede incrementar la expresión de genes relacionados con la síntesis de AsA en brócoli (**Ma et al., 2014**). Igualmente se han encontrado distintos efectos de la luz en AsA. **Zhan et al., (2014b)** encontraron mayor contenido de AsA en coliflores almacenados en presencia de luz que en los controles almacenados en oscuridad. En otro estudio de **Rybarczyk-Plonska et al. (2014)**, los autores no encontraron diferencias en AsA entre cabezas de brócoli almacenadas en oscuridad o expuestas 12 h por día a la luz. **Hasperué et al., (2016a)** no encontraron diferencias relevantes en AsA entre brócolis almacenados en oscuridad o expuestos a luz blanca-azul en forma continua. El mayor nivel de AsA encontrado aquí puede indicar un mantenimiento del estatus redox del vegetal, relacionado con la menor senescencia observada (**Das y Roychoudhury, 2014**).

Los brócolis expuestos a la luz ($9,5 \text{ W m}^{-2}$, 3 h por día) tuvieron mayores niveles de antioxidantes determinados frente al radical ABTS^{•+} y en particular de fenoles totales (SRF), que los almacenados en oscuridad durante todo el almacenamiento. Este resultado está en línea con **Jin et al., (2015)** y **Favre et al., (2018)** quienes encontraron mayores niveles de SRF en los brócolis expuestos a la luz en comparación a los almacenados en oscuridad. En coliflor, la exposición a la luz incrementó la actividad de la enzima fenilalanina amonio

liasa, dando lugar a la acumulación de SRF (**Zhan et al., 2014b**). Sin embargo, **Hasperué et al., (2016a)**, no encontraron diferencias en este aspecto entre los brócolis expuestos o no a luz blanca-azul.

4.4. CONCLUSIONES

En este capítulo se evaluaron los efectos de la exposición a ciclos cortos, de 3 h por día, con luz blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ durante el almacenamiento de brócoli a 5°C y 93% HR. La luz fue efectiva para retrasar el amarillamiento, manteniendo mayores valores de Hue^o y una menor luminosidad sin afectar la pérdida de peso ni la tasa respiratoria, en comparación con el almacenamiento en la oscuridad. Los niveles de azúcares totales fueron mayores en brócolis expuestos a la luz en comparación a los almacenados en oscuridad luego de 13 días. La luz retrasó en gran medida la degradación de ácido ascórbico y mantuvo mayores niveles de antioxidantes. La exposición a períodos de 3 h de luz blanca con intensidad de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ puede ser una técnica promisorio para complementar el almacenamiento refrigerado de cabezas de brócoli enteras.

Capítulo 5

Efecto de la exposición a la luz en exhibidores refrigerados sobre la calidad de hojas de kale rizado verde y morado

5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS

-Estudiar el efecto de la exposición de hojas de kale verdes y moradas a diferentes intensidades de luz durante el almacenamiento refrigerado.

-Hipótesis

La exposición a la luz de distintas intensidades durante el almacenamiento refrigerado retrasa la senescencia de las hojas de kale dependiendo de la intensidad, y el efecto difiere entre variedades verdes y moradas

-Estudiar el efecto de la intensidad de luz en la calidad nutricional y sensorial de hojas de kale dispuestas en múltiples capas

-Hipótesis

La exposición a la luz durante el almacenamiento refrigerado mejora la calidad en relación al almacenamiento en oscuridad, incluso cuando las hojas se disponen en múltiples capas, y dicho efecto es función de la intensidad de la luz.

5.2. INTRODUCCIÓN

La exposición a la luz poscosecha durante la venta minorista ha ganado impulso en los últimos años cuando se informó que la recomendación convencional de almacenar vegetales en la oscuridad puede no ser, en algunos casos, la mejor opción en términos de retención de calidad (Ilić y Fallik, 2017; Khan y Abas 2011).

Hasta el momento, algunos estudios han proporcionado evidencia del valor de los tratamientos de iluminación para extender la vida útil, especialmente en vegetales verdes (Jin *et al.*, 2015; Ilić y Fallik, 2017). Sin embargo, parte de esta investigación se ha realizado a temperatura ambiente o en productos colocados en monocapa, lo que dificulta predecir los beneficios reales de la exposición poscosecha a la luz ya que dichas condiciones no son comunes a todos los productos (Bárcena *et al.*, 2019; Favre *et al.*, 2018). Varios estudios recientes han sugerido que la iluminación adicional en poscosecha puede, en algunos casos, retrasar el deterioro también en productos refrigerados (Pintos *et al.*, 2020; Castillejo *et al.*, 2021; Pennisi *et al.*, 2021). La eficacia de los tratamientos poscosecha con luz visible se ve afectada por factores tanto del proceso como del producto. El tipo de producto tiene un factor decisivo en el resultado de los tratamientos con luz en poscosecha. Surgen claras diferencias no sólo según la especie (Hasan *et al.*, 2017) sino también según el cultivar específico (Lester *et al.*, 2010). En cuanto al tratamiento, algunas de las condiciones clave para ajustar incluyen el perfil espectral de la fuente de luz, la intensidad lumínica y el tiempo de exposición (para tratamientos de iluminación discontinua y cíclica). En el **capítulo 3** se observó que la exposición fraccionada

a la luz fue más efectiva en retrasar la senescencia de brócoli en comparación al almacenamiento en oscuridad.

Otras estrategias de conservación poscosecha se han evaluado en kale. Por ejemplo, la inhibición de la acción del etileno con atmósfera modificada (2 kPa O₂ más 15 kPa CO₂) prolongó de 4 a 5 días la vida útil del kale almacenado a temperatura ambiente (**Fonseca et al., 2005**), pero produjo leves beneficios en almacenamiento en frío (**Boherzhijin et al., 2020**). El 1-metilciclopropeno (1-MCP) retrasó la senescencia, redujo las pérdidas de antioxidantes y glucosinolatos (**Sun et al., 2012**). Sin embargo, pocos trabajos han investigado hasta el momento, el efecto de la iluminación poscosecha en las hojas de kale. Los trabajos disponibles proporcionan información valiosa, pero aún hace falta mayor esfuerzo en vista a una aplicación tecnológica. **Bárcena et al. (2019)** demostraron que los pulsos de luz blanca y roja en poscosecha (5 W m⁻², 1 hora por día) retrasaron la degradación de la clorofila. Sin embargo, en este estudio, el producto se mantuvo bajo fuerte abuso de temperatura y humedad (25 °C y 50% HR). **Noichinda et al. (2007)** reportaron algunos beneficios en la retención de calidad de kale expuesto a luz blanca (intensidad cercana a 5 W m⁻²) y almacenado en bolsas de plástico. Desafortunadamente, tales tratamientos causaron una gran pérdida de agua y se compararon únicamente con muestras almacenadas en la oscuridad sin establecer el impacto de las condiciones de iluminación *per se* en la eficacia del tratamiento. Casi todos los estudios que evaluaron la aplicación suplementaria de luz durante el almacenamiento poscosecha se han basado en productos dispuestos en una sola capa (**Noichinda et al., 2007; Costa et al., 2013; Bárcena et al., 2019; Zhang y Xie, 2021**), una condición que sin duda maximiza la exposición a la luz, pero que no

favorecería su aplicación en condiciones comerciales, donde los productos se ofrecen en varias capas o paquetes. En este capítulo, determinamos el efecto de la exposición de kale verde y morado a luz de diferentes intensidades sobre la calidad de hojas dispuestas en múltiples capas.

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1. Efecto de la exposición de kale verde y morado a luz de diferentes intensidades sobre el nivel de pigmentos y el color

El deterioro del color es el cambio poscosecha más relevante en hortalizas de hoja (**Francis, 1995**). Es uno de los atributos clave evaluados por los consumidores y afecta las decisiones de compra (**Loebnitz et al., 2015**). Aunque el almacenamiento en frío retrasa la senescencia de kale, la capacidad de almacenamiento de las hojas aún es muy limitada (**Reda et al., 2021**). En el presente trabajo observamos un marcado cambio del color en hojas de kale verde en todos los tratamientos. Sin embargo, se observó un retraso del amarillamiento en las hojas expuestas a la luz. En las hojas de kale verde, las diferencias de color entre muestras tratadas y los controles fueron mayores hacia el último día de muestreo (**Tabla 4**).

Tabla 4: Cambio de color total (ΔE), luminosidad (L^*) y Hue $^\circ$ en hojas de kale verde almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca de intensidad baja, media o alta durante el almacenamiento a 5 °C durante 7 o 11 días. Los datos representan medias \pm error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Kale verde	Tratamiento	Tiempo (d)		
		0	7	11
ΔE	Control	0	12,83 \pm 2,27 b	18,07 \pm 1,88 b
	Intensidad baja 2 W m $^{-2}$		12,01 \pm 2,99 ab	16,30 \pm 6,14 b
	Intensidad media 7 W m $^{-2}$		8,36 \pm 3,45 a	11,47 \pm 2,42 a
	Intensidad alta 18 W m $^{-2}$		13,77 \pm 5,73 b	19,21 \pm 5,56 b
L^*	Control	27,94 \pm 8,07	42,16 \pm 8,86 b	47,02 \pm 8,29 b
	Intensidad baja 2 W m $^{-2}$		41,13 \pm 8,48 ab	45,51 \pm 10,48 b
	Intensidad media 7 W m $^{-2}$		37,22 \pm 7,64 a	39,92 \pm 5,28 a
	Intensidad alta 18 W m $^{-2}$		43,56 \pm 10,27 b	48,24 \pm 8,51 b
Hue $^\circ$	Control	128,7 \pm 2,64	122,0 \pm 5,47 ab	115,6 \pm 7,65 b
	Intensidad baja 2 W m $^{-2}$		123,4 \pm 5,36 bc	117,7 \pm 7,97 b
	Intensidad media 7 W m $^{-2}$		124,8 \pm 5,18 c	119,5 \pm 6,18 b
	Intensidad alta 18 W m $^{-2}$		120,1 \pm 8,11 a	109,1 \pm 8,32 a

En cuanto al contenido de clorofilas, hacia el día 7 las hojas expuestas a los tratamientos de intensidad media (7 W m $^{-2}$) e intensidad alta (18 W m $^{-2}$) tuvieron mayores niveles en comparación con las muestras con intensidad baja o las almacenadas en oscuridad (**Figura 28**). La exposición a la luz de intensidad media logró conservar mayores niveles de clorofila *a* y *b* en dichas hojas, mientras que las expuestas a la mayor intensidad solo conservaron mayores niveles de clorofila *a*. Ya hacia el final del almacenamiento el amarillamiento de las hojas verdes y el descenso en el contenido de clorofilas fue muy marcado en todas las condiciones excepto en las hojas expuestas a la luz de intensidad media (**Figura 28 D**). Dicha condición de luz impactó más en los niveles de clorofila *a* que en la clorofila *b*.

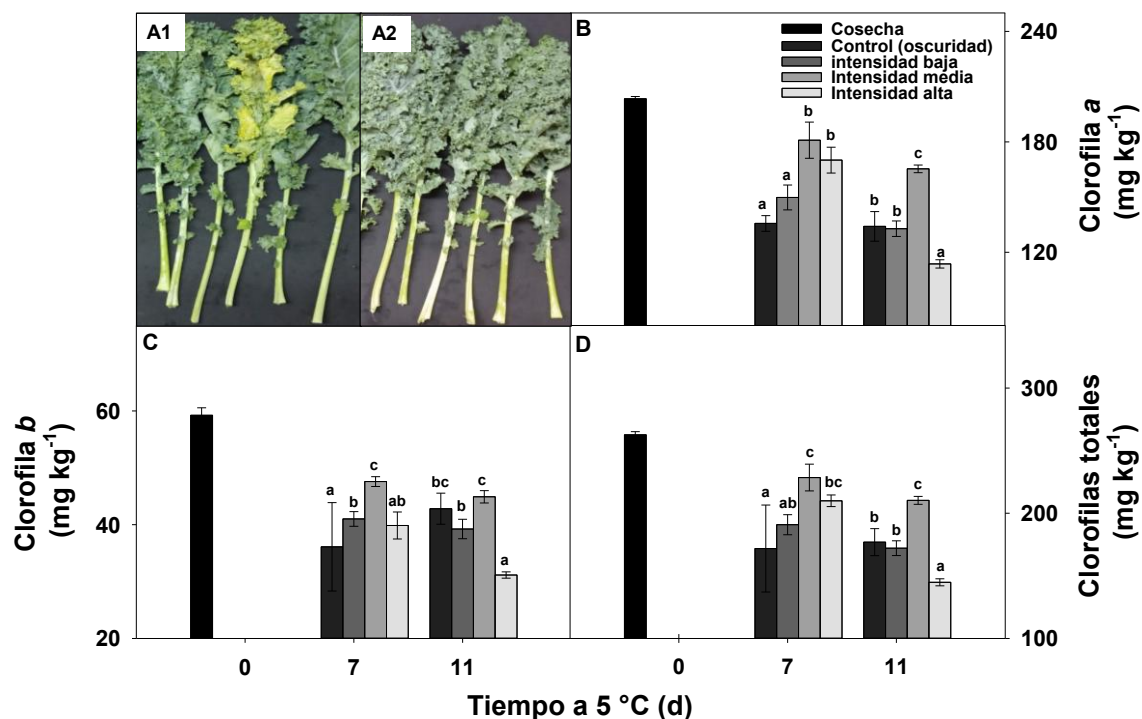


Figura 28. Apariencia de hojas de kale control, A1; o expuestas a la luz, A2. Clorofila a, B. Clorofila b, C. Clorofilas totales, D. Hojas de kale verde almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m⁻² a 5 °C durante 7 u 11 días. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

En kale morado el color está determinado por el nivel de compuestos clorofílicos y antocianicos (un tipo de flavonoides). Los mayores cambios de color se observaron en las muestras control y las hojas expuestas a baja y alta intensidad, mientras que las muestras con intensidad media fueron las que mostraron el ΔE (valores iniciales de $L^* 26,54 \pm 2,33$; $a^* -0,8 \pm 3,29$; $b^* 4,2 \pm 3,01$) más bajo hacia el final del almacenamiento (**Tabla 5**). En concordancia con lo anterior las muestras con intensidad media mostraron los valores más bajos de luminosidad hacia el final del almacenamiento.

Tabla 5. Cambio de color total (ΔE) y luminosidad (L^*) en hojas de kale morado almacenadas en la oscuridad o expuestas a la luz blanca de intensidad baja, media o alta durante el almacenamiento a 5 °C durante 7 u 11 días. Los datos representan medias \pm error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Kale morado	Tratamiento	Tiempo (d)		
		0	7	11
ΔE	Control	0,0 \pm 0,0	5,38 \pm 1,12 a	9,46 \pm 1,99 a
	Intensidad baja 2 W m ⁻²	-	5,17 \pm 0,55 a	9,98 \pm 1,93 a
	Intensidad media 7 W m ⁻²	-	5,64 \pm 3,62 a	7,79 \pm 2,82 a
	Intensidad alta 18 W m ⁻²	-	7,34 \pm 1,75 b	10,61 \pm 2,19 a
L^*	Control	26,54 \pm 2	29,98 \pm 1,62 c	32,46 \pm 2,60 c
	Intensidad baja 2 W m ⁻²	-	28,79 \pm 1,74 b	31,16 \pm 3,36 bc
	Intensidad media 7 W m ⁻²	-	28,23 \pm 1,78 ab	29,13 \pm 2,82 a
	Intensidad alta 18 W m ⁻²	-	27,97 \pm 1,34 a	29,96 \pm 4,21 b

Tanto el contenido de clorofilas como de flavonoides se redujeron en el transcurso del almacenamiento, aunque con diferente velocidad (**Figura 29**). Las clorofilas de las hojas moradas cayeron 50% luego de 7 días, independientemente de la condición de exposición a la luz. Sin embargo, a los 11 días se observaron diferencias siendo la intensidad de luz media la más efectiva en conservar los niveles de clorofila *a* y *b*, nuevamente con mayor efecto en clorofila *a*. Aunque en menor medida, la luz de intensidades baja y alta también favoreció la conservación de clorofilas respecto al almacenamiento en oscuridad.

Respecto de los flavonoides, luego de 7 días de almacenamiento el nivel de flavonoides se redujo levemente independientemente de la condición de exposición a la luz. Hacia el final del almacenamiento la mayor reducción en el contenido de flavonoides, un 50%, se observó en las hojas expuestas a la mayor intensidad de luz (**Figura 29**). Con la intensidad de luz baja u oscuridad también se observó una reducción de flavonoides. Notoriamente, las hojas expuestas a

la intensidad de luz media conservaron niveles de flavonoides similares a los del comienzo del almacenamiento.

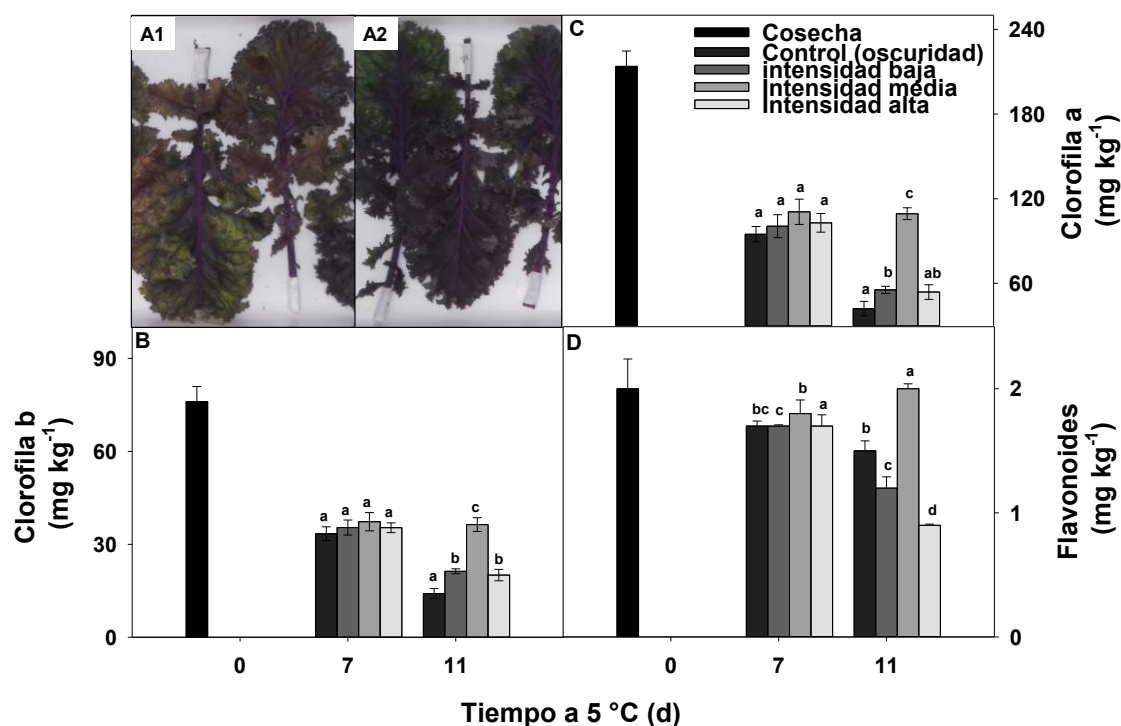


Figura 29: Foto de hojas de kale grupo control, A1. Foto de hojas de kale grupo intensidad media, A2. Clorofila a, B. Clorofila b, C. Flavonoides, D. Hojas de kale morado almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m⁻² a 5 °C durante 7 u 11 días. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

En línea con los resultados obtenidos aquí, **Noichinda et al. (2007)**, observaron que la luz preservó las clorofilas a y b de kale. La menor velocidad de degradación de clorofila podría estar relacionada con una menor actividad de la enzima Chl b reductasa, que puede ser regulada por la luz (**Kusaba et al., 2007**). Los resultados hallados en cuanto al efecto de la luz en los pigmentos de kale van en línea con los resultados previamente presentados en la presente tesis y otros trabajos publicados por varios autores (**Qian et al., 2016; Li et al., 2019**). Específicamente en kale, **Bárcena et al. (2019)** informaron un efecto positivo en

la calidad de las hojas después de pulsos diarios de una hora con luz blanca. Sin embargo, las muestras se mantuvieron a temperatura y humedad relativa ambiente. En la presente tesis, mostramos que la iluminación de fuente LED blanco frío puede retrasar la senescencia también en condiciones de refrigeración evitando el deterioro del color. La intensidad de la luz resultó ser un factor clave para determinar la retención de calidad en kale dispuesto en múltiples capas. De hecho, encontramos que las irradiaciones de baja y alta intensidad, 2 y 18 W m⁻², respectivamente, no fueron beneficiosas. Más aún, algunos atributos de calidad como clorofilas totales (determinan el color superficial) se ven desfavorecidos cuando las hojas se exponen a la luz de la intensidad más elevada. En cambio, la exposición a iluminación de 7 W m⁻² conduce a una mejora importante en la calidad de los pigmentos de la hoja, tanto clorofilas como así también flavonoides.

Un aspecto relevante que debe enfatizarse es que en casi todos los estudios realizados hasta el momento sobre la exposición a la luz en poscosecha de vegetales, los mismos se han dispuesto en monocapa, o en su lugar, con una superposición de hojas relativamente limitada. Esto difiere de las condiciones reales en las que la mayoría de los vegetales a granel se organizan comercialmente, por ejemplo el brócoli generalmente se empaca en cajones con sus cabezas completamente expuestas, lo que facilitaría la iluminación en la venta minorista. Se podría predecir que la superposición de productos reduce la eficacia del tratamiento. Al menos en términos de retención de color se ha demostrado que requiere exposición directa a la luz (**Costa et al., 2013**). Sin embargo, actualmente se desconoce el alcance de dicho efecto. En este trabajo, mostramos que la iluminación poscosecha de kale a granel dispuesto en

múltiples capas, con un programa periódico de cambio en la posición de las hojas durante el almacenamiento, complementa los beneficios del almacenamiento en frío. Bajo las condiciones evaluadas (≈ 225 hojas por m^2 , y una mezcla de hojas diaria de 30 segundos) todavía se pueden lograr beneficios marcados en la retención del color con una iluminación adecuada (7 W m^{-2}). Se ha demostrado que dicho efecto involucra a los fitocromos tanto en la planta (**Brouwer et al., 2014**) como así también en las hojas desprendidas (**Bárcena et al., 2019**). También se ha sugerido que los fotorreceptores azul y UV-A están involucrados en la regulación de la senescencia inducida por la oscuridad, aunque la evidencia disponible aún es indirecta y débil.

5.3.2. Efecto de la exposición a la luz de diferentes intensidades sobre el nivel de azúcares y pérdida de peso de kale verde y morado

La iluminación con luz blanca no solo tuvo un marcado efecto protector sobre los pigmentos sino también sobre el contenido de azúcares de las hojas. La exposición a la luz fue efectiva y mejoró sustancialmente los contenidos de azúcar en las hojas de kale morado (**Figura 30 A**). Las hojas almacenadas bajo estos regímenes de luz acumularon, luego de 7 y 11 días de almacenamiento, entre 50 y 300% mayor contenido de azúcares solubles que las almacenadas en oscuridad.

El contenido total de azúcar soluble de kale verde después de 7 días aumentó significativamente en las hojas expuestas a irradiación media y alta, alcanzando valores 2-3 veces más altos que el kale almacenado en oscuridad o con baja intensidad de luz (**Figura 30 B**).

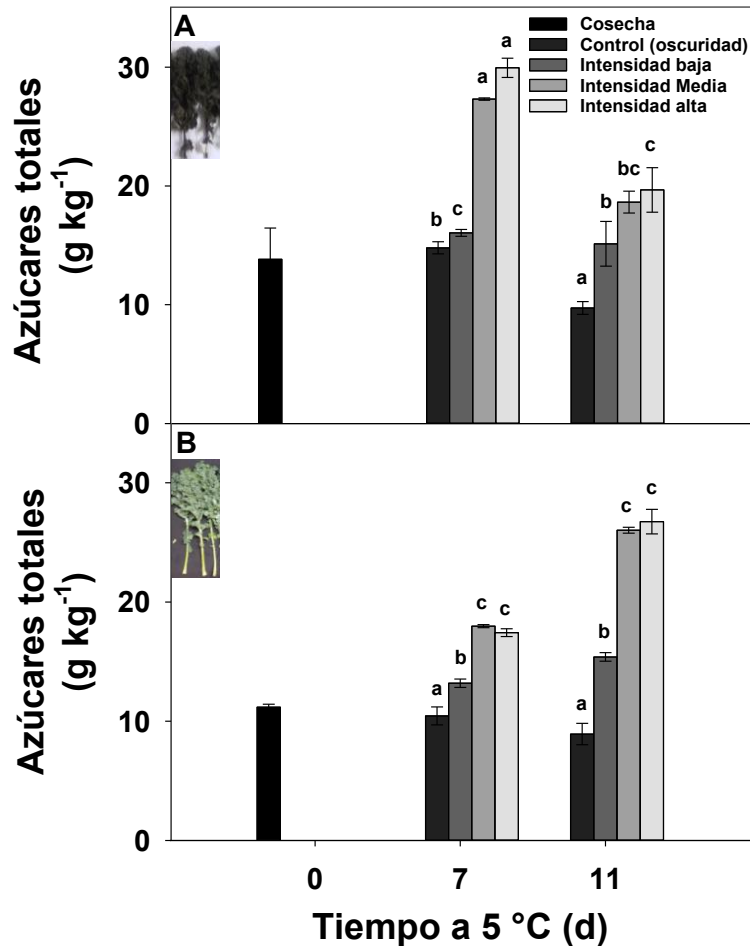


Figura 30. Contenido de azúcares totales de kale morado, A. Contenido de azúcares totales de kale verde, B. Hojas de kale verde almacenadas en la oscuridad o expuestas a la luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m⁻² a 5 °C durante 7 u 11 días. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Después de 11 días de almacenamiento, el contenido de azúcares de las hojas almacenadas bajo luz de intensidad media y alta mostró una tendencia decreciente, aunque con niveles más elevados que las hojas control o expuestas a luz de baja intensidad. Se sabe que la respiración de las hojas aumenta durante la senescencia, y esto conduce a una privación de azúcar más rápida (Tan *et al.*, 2021). Sin embargo, este no parece ser el caso en el presente trabajo, considerando primero que no se encontró una caída sustancial en los niveles de azúcar incluso en el control almacenado en la oscuridad. En cambio, las

diferencias observadas se debieron más bien a una mayor acumulación de azúcar en respuesta a la luz. Resultados similares obtuvieron **Noichinda et al. (2007)** en kale. A primera vista, el gran aumento de azúcar de las hojas expuestas a irradiación de intensidad media y alta puede deberse a un mejor mantenimiento de las funciones centrales del cloroplasto en comparación con las hojas mantenidas en la oscuridad o bajo una exposición a la luz de baja intensidad (**Liebsch y O Keech, 2016**). De hecho, **Noichinda et al. (2007)** especularon que el repollo almacenado bajo luz era fotosintéticamente activo. Sin embargo, esto también es poco probable considerando que el punto de compensación de luz de kale (**Bárcena et al., 2019**) es más alto que la irradiancia aplicada aquí. La fijación sustancial de carbono también sería poco probable dada la baja temperatura (5 °C) a la que se mantuvieron las hojas. Una causa más plausible del aumento observado en los azúcares solubles podría ser el desmontaje de las moléculas de almidón. El almidón ya no se considera una molécula de almacenamiento de energía relativamente estable y a largo plazo (**Thalmann y Santelia, 2017**). Varios trabajos han demostrado que las hojas pueden acumular almidón temporalmente en el cloroplasto y removilizarse en el día para liberar energía, azúcares y metabolitos derivados (**Lu et al., 2005**). Esto ocurre bajo condiciones ambientales desafiantes cuando se generan osmoprotectores y solutos compatibles para mitigar el efecto negativo del estrés (**Krasensky y Jonak, 2012**). Se necesita profundizar las investigaciones para abordar más a fondo los mecanismos del aumento del contenido de azúcar inducido por la luz en las hojas.

Vale la pena señalar que los efectos de la luz sobre la estabilidad de los pigmentos y el metabolismo de azúcares no coincidieron completamente entre

los tratamientos. La exposición a la luz de intensidad media evitó la degradación de clorofila, pero no así la irradiación baja o alta. En cuanto a los azúcares, los efectos más beneficiosos se registraron en los tratamientos con luz de intensidad media y alta, en un nivel comparable. Una tendencia similar fue consistente en los dos genotipos de kale evaluados. Esto indica que los efectos de la luz sobre el metabolismo de la clorofila y el nivel de azúcares en las hojas pueden seguir diferentes vías de regulación. En cualquier caso, desde el punto de vista de la calidad, la exposición a la luz de 7 W m^{-2} sería la condición de elección.

En cuanto a la pérdida de peso (PP), al comparar los cultivares de kale verde y morado, al final del almacenamiento se encontró una mayor pérdida de peso en las hojas moradas que en las verdes en todos los tratamientos con la excepción de las muestras expuestas a intensidad media (**Tabla 6**). En kale verde, los tratamientos de baja y alta intensidad superaron el 34% de PP en el día 11, llegando al final del almacenamiento visiblemente deteriorado. Sin embargo, la PP de los controles y las hojas expuestas a intensidad media estuvo en torno al 23%. En hojas de kale morado, se observó incluso una PP más elevada, y las diferencias entre tratamientos fueron mayores que las observadas para el kale verde. Al final del almacenamiento, fue el tratamiento de intensidad media el más eficaz en controlar la PP, incluso reduciéndola a valores inferiores a los observados en los controles.

Tabla 6: Porcentaje de pérdida de peso (PP) en hojas de kale verde y morado almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca de intensidad baja, media o alta durante el almacenamiento a 5 °C durante 7 u 11 días. Los datos representan medias \pm error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

	Tratamiento	Tiempo (d)	
		7	11
Kale verde	Control	17,5 \pm 4,8 a	22 \pm 2,4 a
	Intensidad baja 2 W m ⁻²	24,8 \pm 6,6 b	35,8 \pm 12,2 b
	Intensidad media 7 W m ⁻²	15,7 \pm 3,8 a	24,6 \pm 6 a
	Intensidad alta 18 W m ⁻²	24,6 \pm 2,8 b	34,3 \pm 3,2 b
Kale morado	Control	20,9 \pm 5,7 a	34,2 \pm 6,8 b
	Intensidad baja 2 W m ⁻²	28,7 \pm 8,2 b	47,4 \pm 7,3 c
	Intensidad media 7 W m ⁻²	15,8 \pm 7,5 a	26,2 \pm 5,4 a
	Intensidad alta 18 W m ⁻²	32,3 \pm 8,3 b	49,9 \pm 2,5 c

5.3.3. Efecto de la exposición a la luz de diferentes intensidades sobre el nivel de fenoles y carotenoides de kale verde y morado

Se evaluaron los cambios en carotenoides y antioxidantes fenólicos durante el almacenamiento. De manera similar a lo observado para los azúcares, el régimen de exposición a la luz influyó en el nivel de carotenoides. Una vez más, la irradiación de intensidad media fue la condición más beneficiosa. Durante la senescencia foliar, ocurre una disminución de carotenoides, y esta disminución puede ser retardada por la luz (**Biswal, 1995**). Los carotenoides en hojas de kale morado evolucionaron de una forma similar a las hojas verdes, con una mayor retención en las hojas tratadas con luz de intensidad media (**Figura 3C y D**). En las hojas de kale verde control o expuestas a luz de baja intensidad, se observó una reducción en el contenido de carotenoides del orden de 10-30% durante el almacenamiento. Por el contrario, la iluminación con intensidad media mantuvo el contenido de carotenoides sin cambios durante 11 días. En las muestras de

kale verde tratadas con luz de intensidad media se mantuvo el nivel de carotenoides, mientras que en kale morado se retrasó su degradación.

En cuanto a los compuestos fenólicos, la respuesta fue dependiente del cultivar.

Los antioxidantes fenólicos en hojas de kale morado mostraron una tendencia creciente durante el almacenamiento. La acumulación de fenólicos se exacerbó en hojas expuestas a luz blanca de intensidad media (**Figura 31 A y B**).

Contrariamente, la luz no provocó cambios en el contenido de fenoles en las hojas verdes. En trabajos anteriores se demostró que la exposición a la luz en momentos previos y posteriores a la cosecha puede provocar la acumulación de compuestos fenólicos (**Oh et al., 2009; Laura et al., 2019; Hasperué et al., 2016b; Qian et al., 2016**). El aumento de los factores de transcripción MYB, reguladores del metabolismo de los fenilpropanoides, podría ser una de las causas debido a que se requiere la luz para su acción (**Pandey et al., 2014**). A su vez, el aumento de fenoles detectado en kale morado durante el almacenamiento, principalmente en las hojas expuestas a la luz de intensidad media, podría deberse a una síntesis de fenilpropanoides más activa en dicha condición (**Jeon et al., 2018**). De hecho, se observó hacia el final del almacenamiento en las hojas tratadas con luz de intensidad media una tonalidad más morada que en los controles (**Figura 29 D**). En conjunto, los resultados muestran que la iluminación suplementaria poscosecha puede ser beneficiosa para prolongar la vida útil de las hojas de kale almacenadas en bandejas. La irradiancia de la fuente de luz es un factor clave, siendo el nivel recomendado una intensidad de 7 W m^{-2} . Dicho tratamiento es efectivo no solo para los genotipos verdes sino también para los morados.

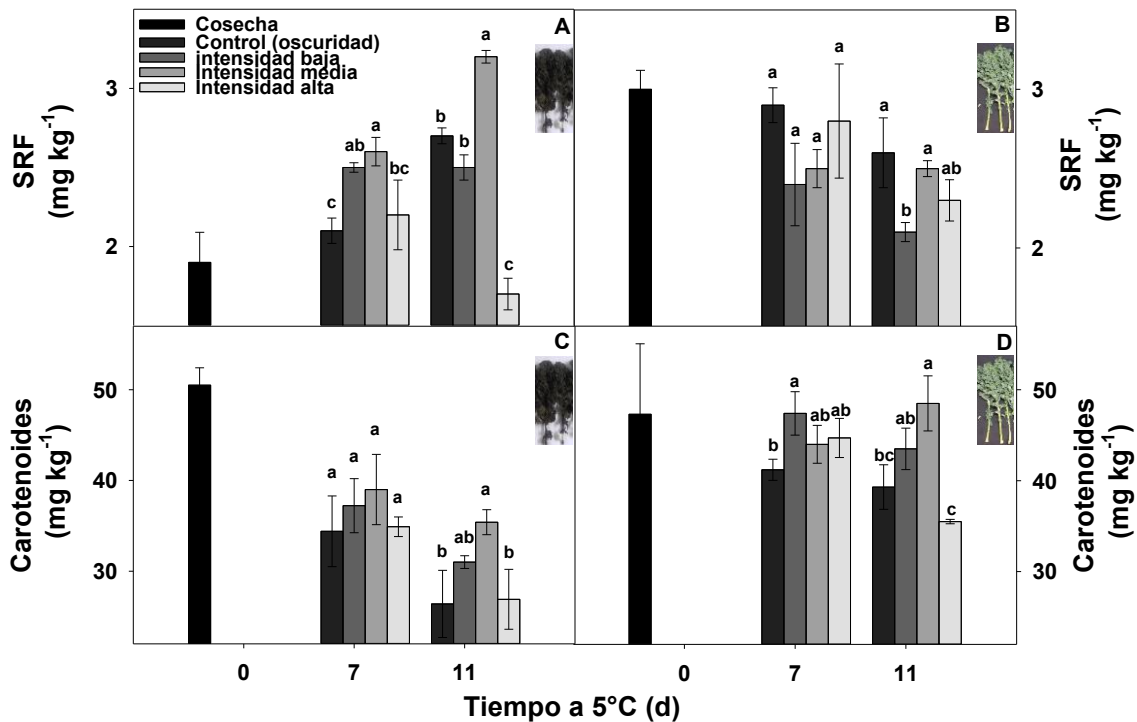


Figura 31: Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) en kale morado, A. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) en kale verde, B. Contenido de carotenoides en hojas de kale morado, C. Contenido de carotenoides en hojas de kale verde, D. Hojas almacenadas en la oscuridad o expuestas a luz blanca bajo irradiaciones de 2, 7 o 18 W m⁻² a 5 °C durante 0, 7 u 11 días. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

5.4. CONCLUSIONES

El almacenamiento refrigerado bajo iluminación con luz blanca de intensidad 7 W m⁻² maximizó la retención de pigmentos en kale verde y morado en comparación con las hojas iluminadas con 2 o 18 W m⁻², o aquellas mantenidas en oscuridad. En conjunto, los resultados muestran que la luz LED blanca de 7 W m⁻² retrasa la senescencia, mantiene los azúcares y previene las pérdidas de antioxidantes en hojas de kale verde y morado almacenadas en múltiples capas y sujetas a una mezcla diaria breve (30 segundos). La aplicación de luz en poscosecha podría generar beneficios significativos en términos de mantener la calidad no solo en hojas dispuestas en monocapa sino también cuando el producto se exhibe en multicapa. El control de la intensidad de luz a la que son

expuestos los vegetales en poscosecha podría ser una técnica limpia y relativamente sencilla para complementar los beneficios de la refrigeración en la venta minorista.

Capítulo 6

**Efecto de la aplicación de luz en la
calidad y la vida poscosecha de
flores de *Alstroemeria sp.***

6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes tipos de luz durante el almacenamiento de flores de *Alstroemeria sp.*

-Hipótesis:

La efectividad de los tratamientos de exposición a la luz depende del tipo de luz utilizado.

-Evaluar el efecto de la exposición a la luz de flores de *Alstroemeria sp* almacenadas a temperatura ambiente (20 °C) y en refrigeración (5 °C).

-Hipótesis:

*Los efectos de la exposición a la luz en la calidad de *Alstroemeria sp.* difieren en función de la temperatura.*

6.2. INTRODUCCIÓN

Las flores de *Alstroemeria sp.* se cosechan con una relativa gran proporción de tallo. Por lo cual, los cambios fisiológicos de dicho órgano son importantes. Concretamente la poscosecha de los tallos florales se ve limitada tempranamente por el amarillamiento de las hojas (**Ferrante et al., 2002**) o la abscisión del tépalo. Este tipo de manifestación se puede reducir de manera muy significativa con el almacenamiento en frío (**Zencirkiran y Mengüç, 2003**). Sin embargo, en el cinturón hortícola platense solo un 33% de los productores florícolas utilizan dicha tecnología (**Cieza, 2014**). Sumado a esto, asegurar la cadena de frío durante el suministro no es tarea sencilla. Se han estudiado alternativas químicas poscosecha entre las que podemos nombrar tratamientos hormonales, solos o en combinación con el almacenamiento a bajas temperaturas (**Ferrante et al, 2001; Mutui et al., 2003; Bagheri et al., 2012**), tiosulfato de plata (STS) (**Chanasut et al., 2003**), cloruro de calcio y azúcares (**Galati et al., 2015, van Doorn, 2004, Arrom y Bosch, 2012, Dar et al., 2014, Rabiza-Swuideer et al., 2020**).

La luz es uno de los factores ambientales más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, no solo proporciona una fuente de energía, sino que también actúa como una señal para otros procesos (**Kami et al., 2010**). Como se mencionó en los capítulos anteriores, desde hace unos años hay evidencia creciente de que la exposición a la luz durante la poscosecha de frutas y hortalizas puede ser una herramienta no química para modular la senescencia, controlar las podredumbres e inactivar microorganismos. La mayor parte de los estudios han sido focalizados en vegetales percederos destinados a alimentación. En el caso de las flores, los antecedentes son mucho más

acotados. Uno de los primeros trabajos que evaluó este concepto utilizó una fuente halógena de alta intensidad para aplicar luz blanca en tallos florales cortados de *Alstroemeria sp.* en forma combinada con la aplicación de ácido giberélico logrando un retraso en el amarillamiento de las hojas (**Jordi et al., 1994**). Sin embargo, ante la disponibilidad actual de las fuentes de iluminación LED mucho más eficientes, surge el interrogante si esta tecnología puede ser de utilidad para conservar la calidad de tallos florales durante el almacenamiento poscosecha de una forma más extendida. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de luz blanca y rojo+azul sobre la calidad de tallos florales de *Alstroemeria sp.* en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente, y el efecto de la luz blanca en refrigeración.

6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.3.1. Efecto de la calidad de la luz sobre la calidad poscosecha de *Alstroemeria sp.* almacenada a 20 °C

6.3.1.1. Consumo de agua y área de tépalos

El consumo de agua de los tallos florales expuestos a la luz fue mayor que el de los controles durante el almacenamiento, independientemente del tipo de luz utilizado (**Figura 32**). El consumo de agua de los tallos florales almacenados a 20 °C en oscuridad (grupo control) fue de 50 ml luego de 7 días y se mantuvo estable a los 14 días. Contrariamente, los tallos florales expuestos a la luz tanto blanca (B, 12 W m⁻²) como rojo+azul (R+A, 12 W m⁻²) consumieron 80 ml a los 7 días y luego incrementaron su consumo de agua a 120 ml a los 14 días.

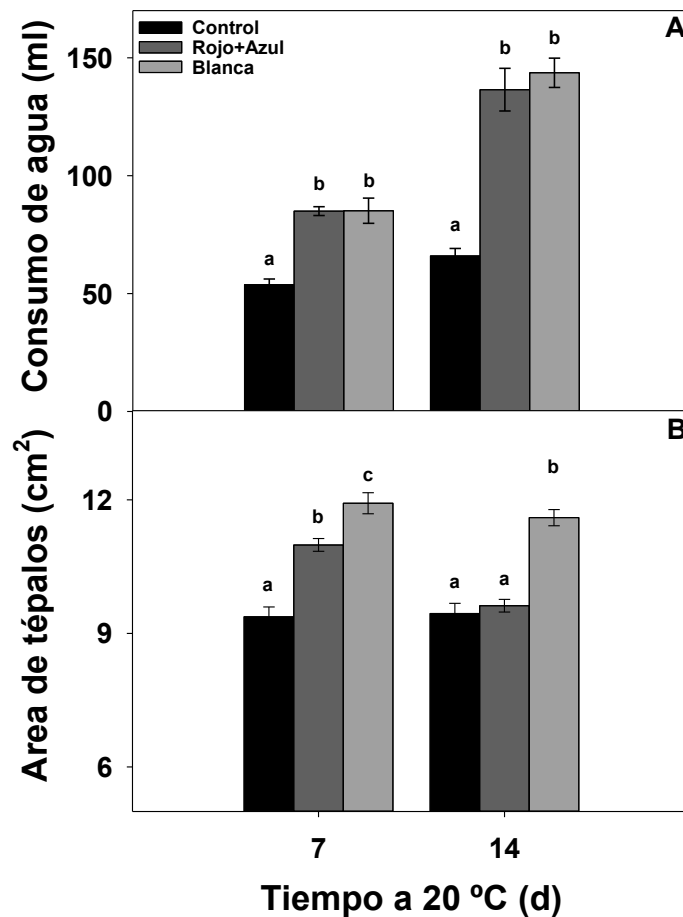


Figura 32: Consumo de agua, A. Área de tépalos, B. De flores de *Alstroemeria* sp. almacenadas durante 7 o 14 días a 20 °C en oscuridad o expuestas a luz blanca o roja+azul. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La apertura floral se resolvió a los 7 días, observándose diferencias en función de la exposición y el tipo de luz. Los tépalos de flores expuestas a luz B y R+A presentaron el mayor tamaño de tépalos, con 30 y 20% mayor área que los controles, respectivamente (**Figura 32**). Luego en las flores expuestas a la luz se registró una disminución en el área de los tépalos en contraposición a los controles donde dicho parámetro se mantuvo sin variación. De todas formas, a los 14 días las flores expuestas a B tuvieron un área de tépalo un 14% mayor que las flores control y R+A (**Figura 33**). Una mayor área de los tépalos se

relaciona con una mejora en la calidad de las flores, rasgo que fue superior en las flores tratadas con B respecto de las tratadas con R+A.

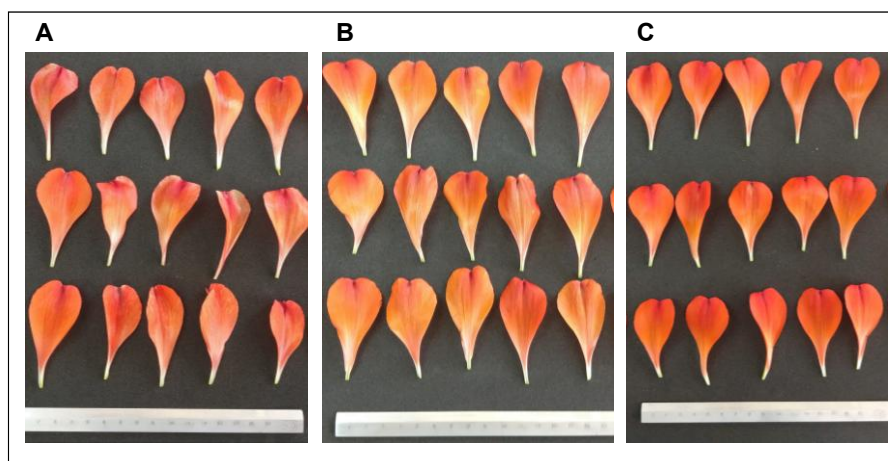


Figura 33. Flores de *Alstroemeria sp.* almacenadas por 14 días a 20 °C. Tépalos almacenados en oscuridad, A. Tépalos expuestos a luz rojo+azul, B. tépalos expuestos a luz blanca, C.

6.3.1.2 Color y contenido de clorofilas de las hojas

Uno de los aspectos más importantes al evaluar la calidad de los tallos de *Alstroemeria sp.* es el color de sus hojas, las cuales tienen la particularidad de sufrir un amarillamiento acelerado durante la poscosecha, lo que desmejora la calidad de los tallos florales aun cuando no ha comenzado la abscisión de los tépalos. En consecuencia, el color de la hoja, así como el tamaño final de la flor y el tiempo de abscisión son los aspectos clave en la calidad de la *Alstroemeria sp.* al momento de la comercialización. La refrigeración es la estrategia más efectiva para ampliar la ventana de comercialización de los tallos florales. Sin embargo, su utilización a menudo se ve limitada por factores extrínsecos de índole económica y/o logística, por lo cual resulta de interés evaluar tecnologías que puedan mejorar la poscosecha de los tallos florales en condiciones subóptimas. Además, en los casos en que se realiza el esfuerzo en implementar un sistema de refrigeración, es perfectamente justificable la complementación con una tecnología relativamente económica que logre incrementar aún más el

beneficio de las bajas temperaturas. Las condiciones de exposición a la luz evaluadas aquí resultaron efectivas para la conservación y mejoramiento de la calidad de los tallos florales en ambas situaciones.

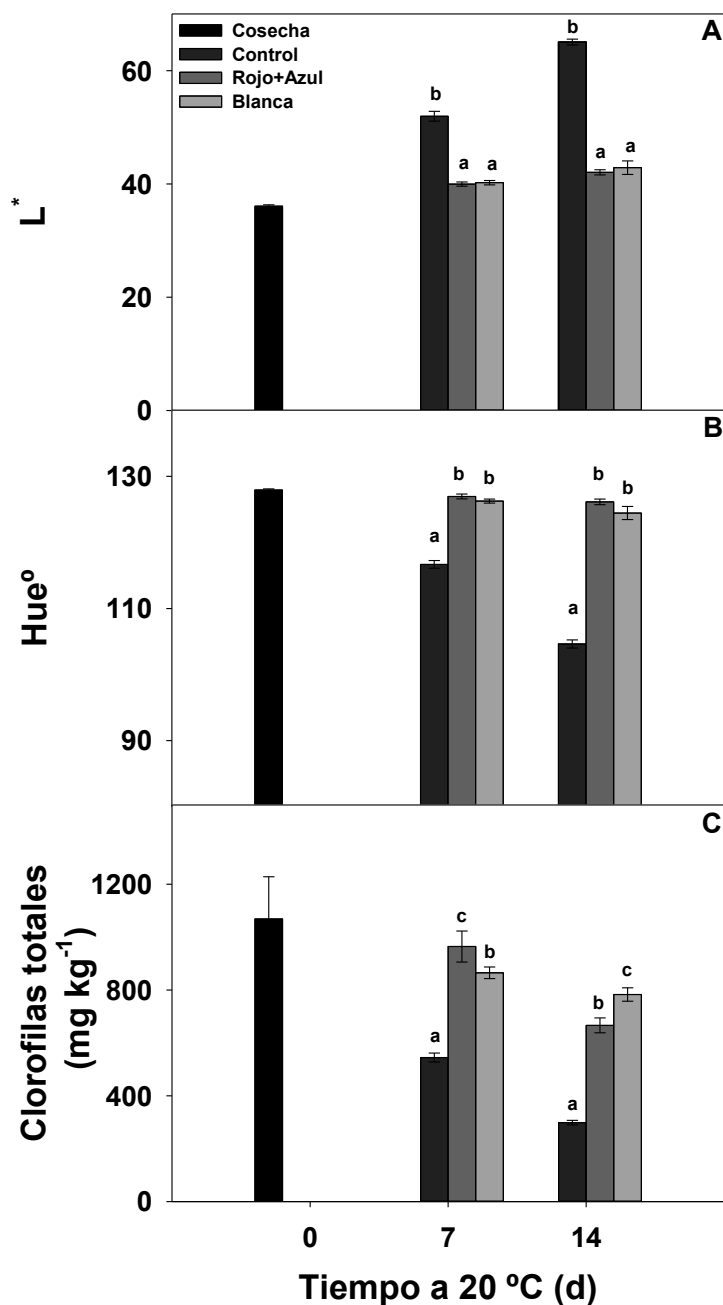


Figura 34. Luminosidad (L^*), A. Angulo Hue°, B. Contenido de clorofilas totales, C. De hojas de *Alstroemeria* sp. almacenadas durante 0, 7 o 14 días a 20 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Se evaluó la evolución del color desde el verticilo superior, debajo de la parte superior de las flores, hasta las hojas inferiores. Inicialmente las hojas presentaron un ángulo Hue de 125° y una luminosidad (L*) de 40. En las muestras almacenadas en la oscuridad se observó un marcado amarillamiento con el transcurso del almacenamiento. A los 7 días el Hue y el L* de las hojas control fue de 110 y 60°, respectivamente. Lo anterior difirió con lo observado en las hojas expuestas a la luz, que conservaron sus valores de L* y Hue iniciales independientemente del tipo de luz aplicada. Esta diferencia se mantuvo hacia los 14 días. Ambas condiciones de exposición a la luz fueron igualmente efectivas para conservar el color verde de las hojas de los tallos florales (**Figura 34 A y B**).

El contenido de clorofilas en hoja disminuyó durante el almacenamiento en todos los tratamientos. Sin embargo, se observó un retraso significativo en la degradación de clorofila en las muestras expuestas a la luz (**Figura 34 C**). La concentración de clorofila de las hojas de varas florales almacenadas en oscuridad fue aproximadamente de 1 g kg⁻¹ al inicio y cayó fuertemente a 0,55 y 0,3 g kg⁻¹ luego de 7 y 14 días respectivamente. En contraposición, luego de 7 días las hojas expuestas a la luz B y R+A tuvieron 0,85 y 0,95 g kg⁻¹ respectivamente. A los 14 días la concentración de clorofilas en las hojas expuestas a la luz se redujo, pero igualmente fue entre 2-2,5 veces la observada en los controles. Las hojas expuestas a luz B terminaron el período de almacenamiento con el mayor contenido de clorofilas. La luz B y R+A fueron igualmente efectivas en retrasar el deterioro del color y la degradación de clorofilas de las hojas de *Alstroemeria sp.* almacenadas a 20 °C.

6.3.1.3. Azúcares totales, compuestos fenólicos y carotenoides

El contenido de azúcares difirió marcadamente entre hojas y tépalos, siendo éste al inicio del almacenamiento de 8 y 30 g kg⁻¹ en hoja y tépalo, respectivamente. En el caso de las hojas almacenadas en oscuridad los azúcares descendieron 50% luego de 7 días y se mantuvieron aproximadamente estables hacia los 14 días, en tanto que las hojas expuestas a la luz acumularon azúcares, especialmente hacia el final del almacenamiento. Luego de 7 y 14 días el nivel de azúcares de las hojas expuestas a luz B rondó los 10 y 17 g kg⁻¹, respectivamente, mientras que en las expuestas a R+A en ambos días fue de 7 y 14 g kg⁻¹ (**Figura 35 A**). En el caso de los tépalos de las flores conservadas en oscuridad el nivel de azúcares se mantuvo sin variaciones durante todo el período analizado. Sin embargo, como en el caso de las hojas, el tratamiento con luz también indujo acumulación de azúcares en los tépalos. Los tépalos expuestos a R+A tuvieron 35 y 38 g kg⁻¹ de azúcares mientras que en los tépalos expuestos a luz B fue aún mayor llegando a 40 y 50 g kg⁻¹ luego de 7 y 14 días, respectivamente (**Figura 35 B**).

La exposición a la luz generó un marcado incremento en el contenido de azúcares en hojas y tépalos durante el almacenamiento a 20 °C (también en el almacenamiento a 5 °C; **sección 6.3.2.2.**). Un mayor suministro de carbohidratos a las flores, ya sea por hidrólisis del almidón o por síntesis, no sólo proporcionaría un sustrato para los procesos metabólicos, sino también osmolitos para favorecer la entrada de agua y la expansión celular (**van der Meulen et al., 2001**). Aunque no fue determinado aquí, hay algunos reportes indicando que el almidón es el carbohidrato dominante en tépalos de *Alstroemeria sp.* durante el período de crecimiento (**Collier et al., 1997**). Por otra parte, podríamos adjudicar

a la fotosíntesis el mayor nivel de azúcares en las muestras expuestas a la luz. Sin embargo, se ha reportado que las tasas fotosintéticas de las flores cortadas de *Alstroemeria sp.* son muy bajas (**Jordi et al., 1994**). Otros estudios sugieren una correlación positiva entre el contenido de azúcares (en la cosecha o durante el almacenamiento) y la vida poscosecha en *Alstroemeria sp.* así como también en otras especies ornamentales (**van der Meulen-Muisers et al., 2001; Aalifar et al., 2020**). **Van der Meulen et al. (2001)** encontraron una relación entre el estado de madurez fisiológica de las yemas y el contenido de carbohidratos en los tépalos, siendo las yemas más maduras las que contenían más carbohidratos en sus tépalos. En este sentido, las flores expuestas a la luz presentaron el mayor contenido de azúcares, al tiempo que evidenciaron un estado de desarrollo más avanzado, con tépalos más grandes y con mayor contenido de antocianinas. A pesar de la aceleración del desarrollo observada de las flores bajo luz blanca, estas fueron las que tuvieron la mayor vida poscosecha.

El contenido de fenoles de las hojas y de las flores se mantuvo entre 1 y 1,5 g kg⁻¹ durante todo el almacenamiento y en todas las condiciones de iluminación con excepción de las hojas control que evidenciaron una acumulación de fenoles a los 14 días. En otros estudios se observó que la luz puede exacerbar la síntesis de antioxidantes (**Aalifar et al., 2020, Anvari et al., 2022**). Si bien en el presente trabajo ello no fue evidente para los antioxidantes medidos por el reactivo de Folin-Ciocalteu, sí se observó una acumulación de antocianinas en los tépalos de los tallos florales expuestos a luz blanca durante el almacenamiento a temperatura ambiente, y una tendencia en el mismo sentido en las muestras almacenadas en refrigeración (**Sección 6.3.2.3.**). En ese sentido, el nivel de antocianinas de los tépalos en oscuridad o expuestos a la luz R+A rondó los 0,3

g kg⁻¹, sin variaciones importantes durante el almacenamiento. En contraposición, los tépalos expuestos a luz B evidenciaron un incremento llegando a valores en torno a 0,7 g kg⁻¹ luego de 7 y 14 días.

En cuanto al contenido de carotenoides totales, las hojas presentaron en promedio unos 0,13 g kg⁻¹. Durante el almacenamiento solo se observó un incremento de carotenoides en los controles, mientras que las muestras expuestas a la luz mantuvieron sus niveles iniciales (**Tabla 7 A**).

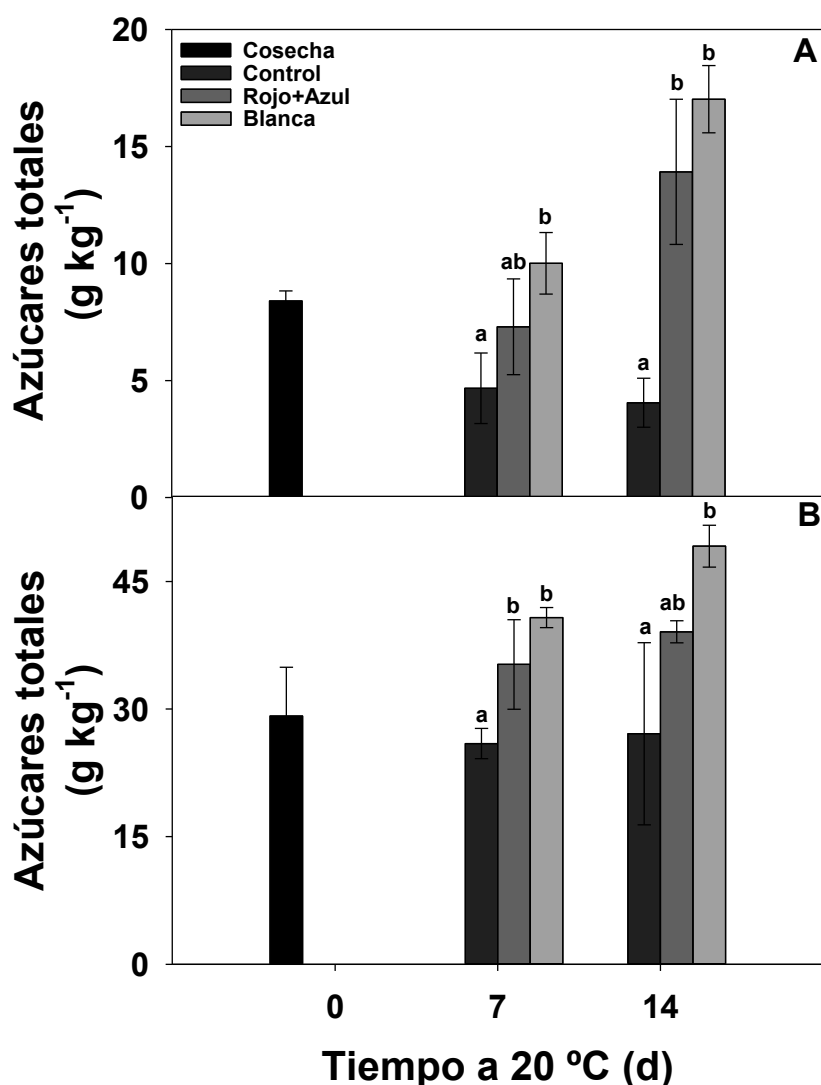


Figura 35. Azúcares totales en hojas, A. Azúcares totales en tépalos, B. De *Alstroemeria* sp. almacenadas durante 0, 7 o 14 días a 20 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

A medida que las flores se desarrollaron y se produjo su apertura, durante el almacenamiento aumentó el contenido de antocianinas en los tépalos y, en mayor medida, en las flores bajo luz B y R+A (**Tabla 7 B**). Este aumento se observó principalmente a los 7 días, después de lo cual el contenido de antocianinas disminuyó en general de forma concomitante con el avance de la senescencia. Las flores tratadas con luz B presentaron el mayor contenido de antocianinas, seguidas del tratamiento R+A. Dicho contenido disminuyó considerablemente en las flores tratadas con R+A a los 14 días de almacenamiento, llegando a niveles similares a los de los controles. Contrariamente, en las flores tratadas con luz B hubo solo una ligera disminución y los tépalos retuvieron niveles de antocianinas significativamente más altos que con R+A y los controles.

Tabla 7. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) y carotenoides en hojas en hojas (A) o tépalos de flores (B), y antocianinas en tépalos de flores de *Alstroemeria* sp. almacenadas a 20 °C. Los datos representan medias \pm error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

A	SRF (mg g ⁻¹)			Carotenoides (mg g ⁻¹)		
	0	7	14	0	7	14
Control	1,11 \pm 0,05	1,28 \pm 0,28 a	1,73 \pm 0,06 a	128,4 \pm 0,96	154,1 \pm 3,86 a	158,4 \pm 4,07 a
Rojo+Azul	1,11 \pm 0,05	1,18 \pm 0,13 a	1,45 \pm 0,05 b	128,4 \pm 0,96	134,6 \pm 2,82 b	120,1 \pm 3,83 c
Blanca	1,11 \pm 0,05	1,25 \pm 0,10 a	1,45 \pm 0,16 b	128,4 \pm 0,96	127,5 \pm 1,87 b	131,2 \pm 1,87 b

B	SRF (mg g ⁻¹)			Antocianinas (mg 100g ⁻¹)		
	0	7	14	0	7	14
Control	1,55 \pm 0,14	1,42 \pm 0,11 a	1,32 \pm 0,06 a	33,3 \pm 0,00	37,2 \pm 5,21 b	37,65 \pm 2,79 b
Rojo+Azul	1,55 \pm 0,14	1,31 \pm 0,15 a	1,35 \pm 0,08 a	33,3 \pm 0,00	49,47 \pm 13,59 ab	36,38 \pm 0,49 b
Blanca	1,55 \pm 0,14	1,32 \pm 0,12 a	1,50 \pm 0,13 a	33,3 \pm 0,00	66,92 \pm 5,41 a	60,07 \pm 4,50 a

En suma, la exposición a la luz puede ser una tecnología promisoría para mejorar la calidad de los tallos florales durante el almacenamiento a 20 °C. Ambas fuentes de luz evaluadas, tanto B como R+A, fueron eficaces para mantener la calidad de hojas y tépalos (**Figura 36**). Sin embargo, la luz B indujo mayor nivel de azúcares que la R+A, lo que pudo estar asociado al mayor retraso en la senescencia y amarillamiento de hojas observado. Adicionalmente, la luz B indujo una acumulación de pigmentos antociánicos, hecho que mejoró la calidad visual de las flores.



Figura 36. Varas florales de *Alstroemeria* sp. almacenadas durante 14 días a 20 °C Oscuridad (control), A. Rojo+azul (R + A), B. Blanco (B), C.

6.3.2. Efecto de la exposición a la luz blanca cálida durante el almacenamiento a 5 °C

6.3.2.1. Consumo de agua y área de tépalos

Al igual que el almacenamiento a 20 °C, en el experimento en condición de refrigeración (5 °C) la exposición a la luz blanca cálida de 12 W m⁻² por 16 h diarias (B) indujo mayor consumo de agua. Luego de 26 y 36 días, las flores almacenadas en oscuridad consumieron 63 y 74 ml de agua en comparación a los 125 y 175 ml consumidos por los tallos florales expuestos a la luz (**Figura 37 A**).

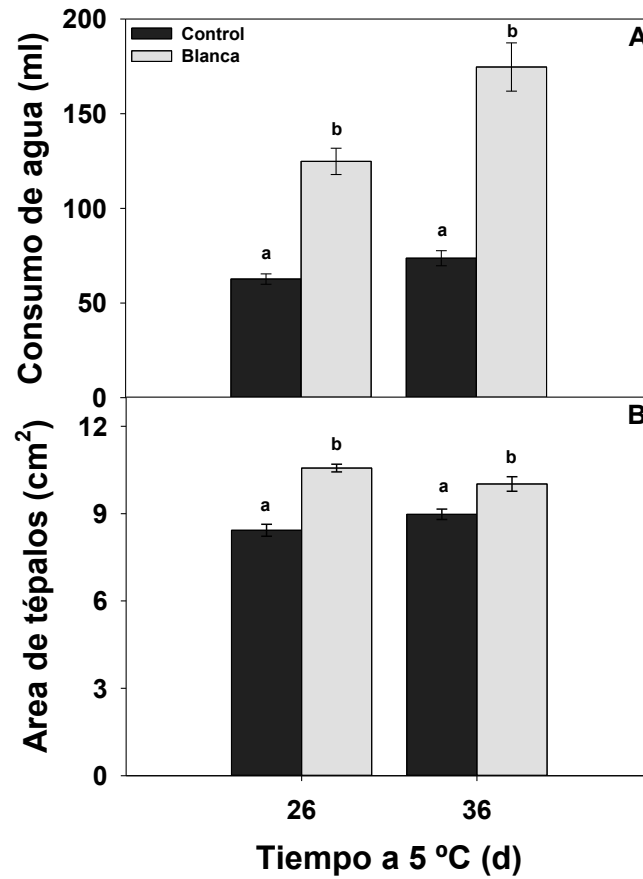


Figura 37. Consumo de agua, A. Área de tépalos, B. De hojas de *Alstroemeria sp.* almacenadas durante 26 o 36 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La exposición a la luz B incrementó el área de los tépalos incluso en refrigeración (Figura 38). Tal es así que luego de 26 y 36 días las flores expuestas a la luz presentaron 2 y 1 cm² mayor área de tépalos que los controles, respectivamente (Figura 37 B).



Figura 38: Vista de los tépalos de flores almacenadas a 5 °C luego de 26 días.

6.3.2.2. Color y contenido de clorofilas de las hojas

Durante el almacenamiento refrigerado los tallos florales almacenados en oscuridad experimentaron un marcado descenso del Hue y un incremento del L* de sus hojas. Contrariamente, las hojas expuestas a la luz mantuvieron inalterado su color (**Figura 39 A y B**).

En cuanto al contenido de clorofilas totales, si bien disminuyó durante el almacenamiento a 5 °C, más allá de la exposición a la luz, hubo una marcada diferencia en la velocidad de dicho proceso entre los tratamientos. Luego de 36 días las hojas expuestas a la luz conservaron aproximadamente 80% de su contenido inicial de clorofilas en relación a tan solo el 30% de las hojas almacenadas en oscuridad (**Figura 39 C**). La exposición a la luz fue efectiva en retrasar los cambios de color y la degradación de clorofilas en tallos florales almacenados a 5 °C hasta los 36 días (**Figura 40**).

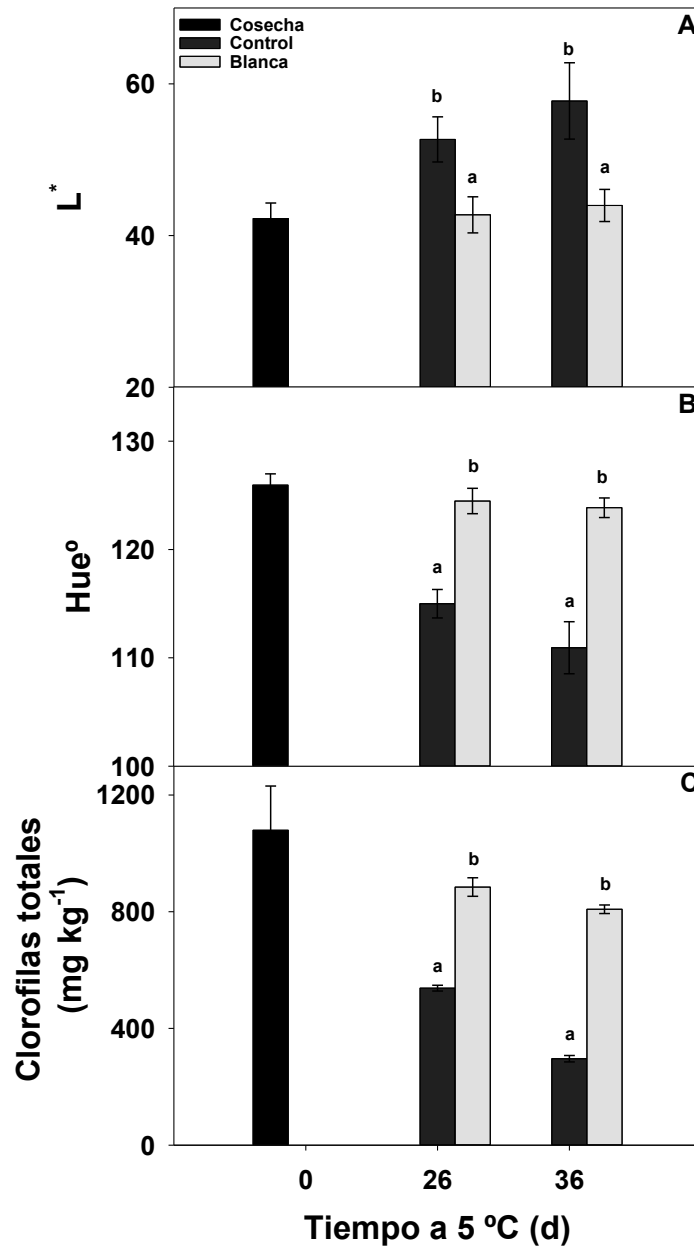


Figura 39: Luminosidad (L^*), A. Angulo Hue°, B. Clorofilas totales, C. De hojas de *Alstroemeria* sp. almacenadas durante 0, 26 o 36 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Con respecto a la senescencia de las hojas y en concordancia con lo observado en los capítulos precedentes (**Capítulos 3, 4 y 5**), la luz retrasó la degradación de clorofila. La luz no solo proporciona una fuente de energía para las plantas, sino que también dirige el metabolismo a través de fotorreceptores como los fitocromos, que son sensibles a la banda roja, una de las longitudes de onda que

componen las fuentes de luz utilizadas en la presente tesis. Se ha indicado que algunos factores que interactúan con fitocromos (PIF) como los PIF4 y PIF5, pertenecientes a una pequeña familia de factores de transcripción, son centralmente críticos en la senescencia inducida por la oscuridad y la degradación de la clorofila (Zhang *et al.*, 2015; van Doorn 2008). La senescencia y el amarillamiento de las hojas también pueden ser inducidos o suprimidos por varias fitohormonas, incluyendo etileno, ácido jasmónico (JA), ácido abscísico (ABA), ácido salicílico (SA), auxinas, ácido giberélico, óxido nítrico y poliaminas, las cuales intervienen en diversas redes regulatorias (Zhang y Zhou, 2013).

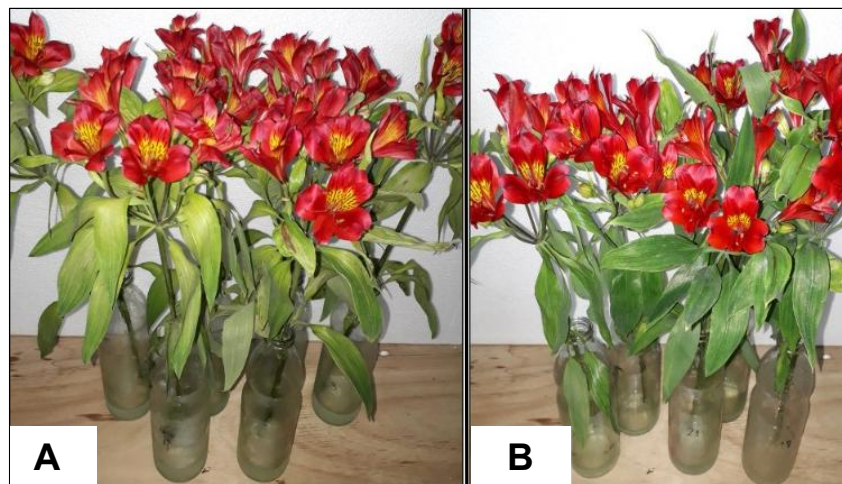


Figura 40. Varas florales de *Alstroemeria sp.* almacenadas en oscuridad, A. Varas florales de *Alstroemeria sp.* almacenadas bajo luz blanca; B. Durante 36 días a 5 °C.

Se requieren más estudios para dilucidar los mecanismos involucrados en el efecto de la luz sobre los tallos florales de *Alstroemeria sp.* A pesar de la complejidad de los mecanismos involucrados, en este trabajo encontramos que la luz puede ser una herramienta no química de conservación de la calidad de tallos florales de alstroemeria durante la poscosecha.

6.3.2.3. Azúcares totales, compuestos fenólicos y carotenoides

El contenido de azúcares resultó ser estable durante el almacenamiento refrigerado en oscuridad, mientras que la suplementación con luz B resultó en una exacerbada acumulación de azúcares durante el almacenamiento tanto en las hojas como así también en los tépalos. Luego de 26 días la concentración de azúcares de las hojas expuestas a la luz rondó los 30 g kg⁻¹, un valor 4 veces mayor al de los controles y dicha diferencia se conservó hasta el final del almacenamiento. En el caso de los azúcares de los tépalos se observó una tendencia similar, aunque la diferencia entre tratamientos fue menor, del orden de 2,3 en favor a las flores expuestas a la luz (**Figura 41**).

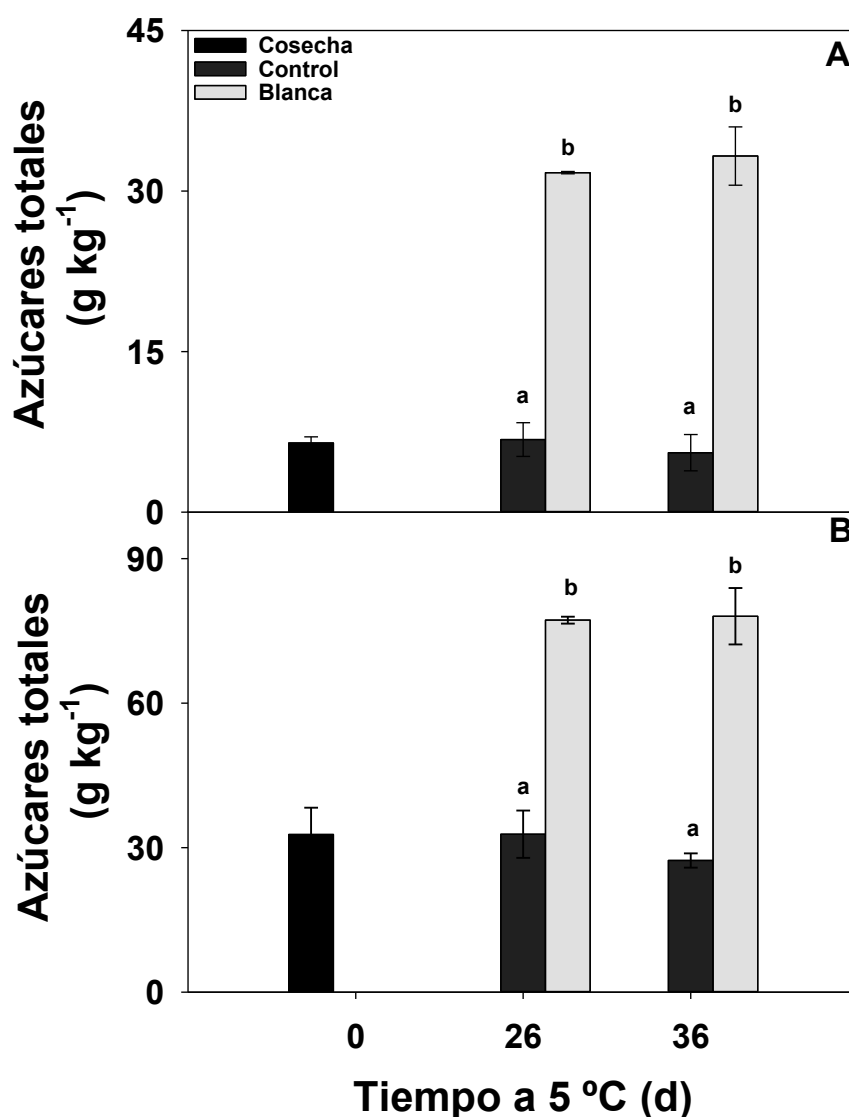


Figura 41: Azúcares totales en hojas, A. Azúcares totales en tépalos, B. De *Alstroemeria* sp. almacenadas durante 0, 26 o 36 días a 5 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y error estándar respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Las antocianinas son pigmentos flavonoides responsables del color de flores, frutas y hortalizas. La síntesis de antocianinas se ha relacionado con la exposición a diferentes factores de estrés, entre los que se encuentran las bajas temperaturas (Ma et al., 2021). A medida que avanzó el desarrollo floral durante el almacenamiento, se observó un aumento en el contenido de antocianinas en todas las flores, sin diferencias significativas entre tratamientos en cada día de muestreo (días 26 y 36) (Tabla 8). Sin embargo, considerando todos los días de

muestreo combinados, las flores tratadas con luz B tuvieron más antocianinas que los controles. A los 26 días, las flores expuestas a la luz tuvieron los niveles de antocianinas que los controles alcanzaron recién a los 36 días. Contrariamente a lo observado a 20 °C, en las flores almacenadas a 5 °C se observó una acumulación de antocianinas en los tépalos de las flores almacenadas en oscuridad. En dicha condición, el nivel de antocianinas se incrementó desde 0,1 g kg⁻¹ al inicio hasta 0,4 y 0,65 g kg⁻¹ luego de 26 y 36 días. Ello pudo deberse a un desarrollo floral más lento a causa de la refrigeración lo que determinó un incremento del nivel de antocianinas durante el almacenamiento. Sin embargo, el incremento fue aún mayor en los tépalos de flores expuestas a la luz, llegando a valores en torno a 0,65 y 0,80 g kg⁻¹ luego de 26 y 36 días, respectivamente.

La combinación de refrigeración y luz generó un incremento adicional en el nivel de antocianinas de los tépalos. Lo anterior indicaría que la combinación de refrigeración y luz blanca no solo extiende la vida poscosecha de los tallos florales, sino que adicionalmente puede mejorar la calidad visual de las flores durante el almacenamiento.

Tanto en las hojas como así también en los tépalos el contenido de compuestos fenólicos se mantuvo estable (**Tabla 8**). En el caso de los compuestos carotenoides de las hojas, la tendencia fue similar a lo observado a 20 °C. No hubo cambios en los tallos florales expuestos a la luz mientras que en los almacenados en oscuridad se observó un incremento del orden del 15%.

Tabla 8. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF) y carotenoides en hojas (A) o tépalos de flores (B), y antocianinas en tépalos de flores de *Alstroemeria sp.* almacenadas a 5 °C. Los datos representan medias \pm error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

A	SRF (mg g ⁻¹)			Carotenoides (mg g ⁻¹)		
	0	26	36	0	26	36
Control	1,11 \pm 0,05	1,19 \pm 0,03 a	1,12 \pm 0,10 a	129,7 \pm	152,3 \pm a	157,1 \pm a
Blanca	1,11 \pm 0,05	1,13 \pm 0,14 a	1,38 \pm 0,15 a	129,8 \pm	130,3 \pm b	135,5 \pm b

B	SRF (mg g ⁻¹)			Antocianinas (mg 100g ⁻¹)		
	0	26	36	0	26	36
Control	1,47 \pm 0,14	1,54 \pm 0,08 a	1,50 \pm 0,01 a	12,16 \pm 2,04	41,5 \pm 6,60 a	64,1 \pm 8,92 a
Blanca	1,47 \pm 0,14	1,51 \pm 0,11 a	1,55 \pm 0,10 a	12,17 \pm 2,04	64,2 \pm 18,70 a	81,9 \pm 3,43 a

6.4. CONCLUSIONES

Está bien establecido que la calidad de la iluminación en precosecha determina la calidad de los tallos florales a la cosecha (**Kami et al., 2010**). En el presente trabajo se mostró que la luz aplicada luego de la cosecha también puede tener un efecto positivo durante la poscosecha de flores de corte. Una exposición de 16 h diarias a luz blanca cálida y roja-azul de 12 W m⁻² resulta beneficiosa en *Alstroemeria sp.* almacenada a temperatura ambiente. La luz blanca cálida fue la condición de iluminación más efectiva en conservar la calidad visual y extender la vida poscosecha de *Alstroemeria sp.* almacenada tanto a 20 °C como a 5 °C.

Capítulo 7

Uso de riboflavina para conservar la calidad de pimiento cortado

7.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Evaluar la efectividad de soluciones de diferente concentración de riboflavina para reducir las podredumbres poscosecha de pimiento mínimamente procesado.

-Hipótesis

La riboflavina retrasa las podredumbres de pimiento en forma dependiente de la concentración.

-Evaluar el efecto de la riboflavina en la calidad fisicoquímica, nutricional y nutracéutica de pimientos mínimamente procesados.

-Hipótesis

La riboflavina conserva la calidad fisicoquímica y microbiológica de pimientos mínimamente procesados durante el almacenamiento.

7.2. INTRODUCCIÓN

El segmento de frutas y hortalizas frescas se ha expandido rápidamente en las últimas décadas en línea con los cambios socioculturales que demandan cada vez más alimentos listos para el consumo (**Gil et al., 2009**). Las hortalizas mínimamente procesadas (MMP) también han sido una opción para los consumidores que buscan alimentos saludables (**Cisneros-Zevallos, 2021**), siendo fáciles de usar al tiempo que no generan elevados niveles de desperdicios en el punto de consumo (**Velderrain-Rodríguez et al., 2019**). Sin embargo, estos productos son mucho más perecederos que los productos enteros sin procesar y, por lo tanto, requieren un manejo poscosecha más demandante (**Ansah et al., 2018**). En primer lugar, el almacenamiento refrigerado es necesario para minimizar los riesgos microbiológicos y ralentizar las reacciones de deterioro más relevantes en las hortalizas MMP (**Artés-Hernández et al., 2017**). Incluso cuando se combina el almacenamiento en frío con otras tecnologías disponibles (por ejemplo, envasado en atmósfera modificada), la vida poscosecha de los productos precortados rara vez supera los 10 a 14 días (**Rodoni et al., 2015; Ma et al., 2017**). En consecuencia, existe un gran interés en encontrar estrategias efectivas para mejorar la vida poscosecha de los productos MMP (**Batiha et al., 2021**). Con respecto a los tratamientos químicos, un número relativamente pequeño de compuestos ha avanzado desde la escala de laboratorio y ha llegado al mercado. Los compuestos clorados, ácido peracético y los antioxidantes tales como los ácidos cítrico y ascórbico se encuentran entre los más utilizados para prevenir la contaminación o cuando el pardeamiento puede volverse problemático (**Capotorto et al., 2017; da Silva Borges et al., 2019**). En algunos casos se aplicaron con éxito sales de calcio

como agentes reafirmantes (**Aguayo et al., 2008**). La búsqueda de nuevas sustancias alimenticias y el descubrimiento de nuevos usos para compuestos ya conocidos no son tareas fáciles, especialmente en un contexto en el que, dadas sus posibles externalidades ambientales y efectos adversos sobre la salud humana, todos los productos químicos incorporados en los sistemas de producción de alimentos están bajo un escrutinio cada vez mayor (**Perito et al., 2020**).

La riboflavina (Rib) es una de las trece vitaminas esenciales para la salud humana (vitamina B₂) (**Bates, 2013**). Su ingesta diaria recomendada es relativamente baja, siendo entre 0,6-1,6 mg (**Turck et al., 2017**). Entre las buenas fuentes naturales de Rib se incluyen vegetales verdes, carne y productos lácteos (**Bates, 2013**). Una de las funciones biológicas bien estudiadas de la Rib es su papel en las reacciones redox. El mononucleótido de flavina (FMN) y el dinucleótido de flavina y adenina (FAD) contienen Rib en sus moléculas. Tanto FMN como FAD son coenzimas básicas del ciclo de Krebs, del metabolismo de proteínas, grasas y esteroides (**Bosch, 2019**).

Rib juega, además de tales funciones metabólicas centrales, un papel en la interacción entre plantas y microorganismos (**Jaiswal et al., 2021**). Trabajando en *Arabidopsis* y tabaco, **Dong y Beer (2000)** encontraron que el tratamiento con Rib provocó resistencia sistémica adquirida (SAR) contra *Peronospora parasitica*, *Pseudomonas syringae*, virus del mosaico del tabaco, y *Alternaria alternata*. Estudios posteriores en arroz y remolacha azucarera (**Taheri y Tarighi, 2010; Taheri y Tarighi, 2011**) y vid (**Boubakri et al., 2013**) encontraron que los tratamientos con Rib exacerbaban fuertemente una importante vía biosintética, la fenilpropanoide. Sin embargo, no todas las especies han

mostrado dicha respuesta defensiva mediada por Rib (**Azami-Sardooei et al., 2010**). Hasta ahora, casi todos los estudios que evaluaron la eficacia de Rib para controlar patógenos se han centrado en las enfermedades previas a la cosecha. Solo un reporte evaluó Rib en el ámbito de la poscosecha mostrando efectos positivos en el control de la podredumbre por *Alternaria* (**Li et al., 2012**).

La Rib es un aditivo alimentario seguro (o GRAS, *Generally Recognized As Safe*) ampliamente aceptado. Esto es debido a su presencia natural en los productos alimenticios, su esencialidad y su uso y consumo seguro a largo plazo (**Suwannasom et al., 2020**). En este contexto, se ha utilizado casi exclusivamente con fines de fortificación en productos con bajos contenidos naturales o cuando el procesamiento hace necesario reponer las pérdidas de esta vitamina. Hasta donde sabemos, pocos trabajos recientemente publicados han evaluado la eficacia de Rib como agente conservante en productos MMP (**Jeong-Eun Hyun et al., 2022; Deng et al., 2022; Kim et al., 2022**). En este trabajo se evaluaron distintas aplicaciones de Rib en pimiento recién cortado y se determinaron sus efectos sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del producto.

7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.3.1. Efecto de la concentración de riboflavina en el control de las podredumbres de pimiento

En principio se decidió evaluar el efecto de tratamientos con diferentes concentraciones de Rib en pimientos almacenados durante 9 días a una temperatura 8 °C la cual se considera por encima de la recomendada para este tipo de productos, y 94% de humedad relativa (HR). Tal decisión estuvo basada principalmente en que se quería someter a los frutos a una condición que

favorezca la aparición de podredumbres, de modo de obtener una rápida y clara respuesta ante cualquier potencial efecto de los tratamientos y así poder seleccionar la condición más efectiva. Después de 9 días de almacenamiento en dicha condición, el 45% de las tiras de pimiento del tratamiento control presentaron síntomas de podredumbre blanda (se forman zonas deprimidas de podredumbre a las que denominamos “caries”) (**Figura 42 A**).

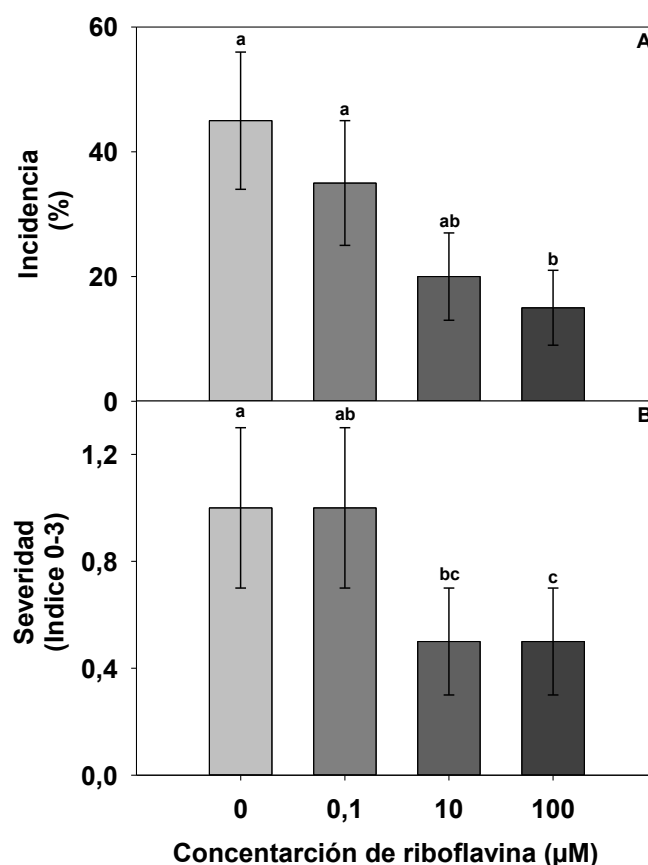


Figura 42: Incidencia de podredumbre, A. Severidad, B. De tiras de pimiento dulce verde sumergidos en 0 (control), 1; 10 o 100 µM Riboflavina durante 5 min y almacenada a 8 °C durante 9 días. Cada valor de columna y barra representan la mediana y el error estándar, respectivamente. Para la incidencia de caries y la gravedad de las caries, las letras indican diferencias significativas según la prueba de Chi-cuadrado y la prueba de Mann-Whitney a un nivel de significancia de $p < 0,05$, respectivamente.

La incidencia de podredumbre fue menor en los pimientos tratados con Rib, siendo su eficacia proporcional a la concentración de la solución en el rango de 1 a 100 µmol L⁻¹. De hecho, las tiras tratadas con la mayor concentración de Rib

solo tuvieron una podredumbre incipiente después de 9 días de almacenamiento. Los tratamientos con Rib de 10 y 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ también redujeron notablemente la severidad de las podredumbres (**Figura 42 B**). En base en estos resultados, se decidió investigar más a fondo los efectos de la inmersión en 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Rib sobre la calidad de tiras de pimiento cortado durante el almacenamiento refrigerado.

7.3.2. Efecto de la riboflavina sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de pimiento verde cortado durante el almacenamiento refrigerado

7.3.2.1. Incidencia y severidad de las podredumbres.

Después de seleccionar una condición adecuada para el tratamiento poscosecha de Rib (100 $\mu\text{mol L}^{-1}$, inmersión durante 5 min), se estudió el efecto de Rib sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los frutos cortados en las condiciones de refrigeración que se utilizan comúnmente durante la distribución comercial (4 °C). Las tiras de pimiento fueron almacenados a 4 °C y 94% HR durante 6, 9 o 12 días. La incidencia de las podredumbres aumentó notablemente en los controles (**Figura 43 A**), los que mostraron luego de 12 días de almacenamiento un 33% de tiras con síntomas de podredumbre en comparación con sólo el 6% de las tiras tratados con Rib. La severidad de la podredumbre también fue baja durante los primeros 9 días de almacenamiento en frío sin diferencias entre tratamientos. Sin embargo, hacia la última fecha de muestreo, se observó un aumento drástico en la severidad de la podredumbre en las tiras control, con valores incluso tres veces más altos que los encontrados en los pimientos tratados con Rib (**Figura 43 B**).

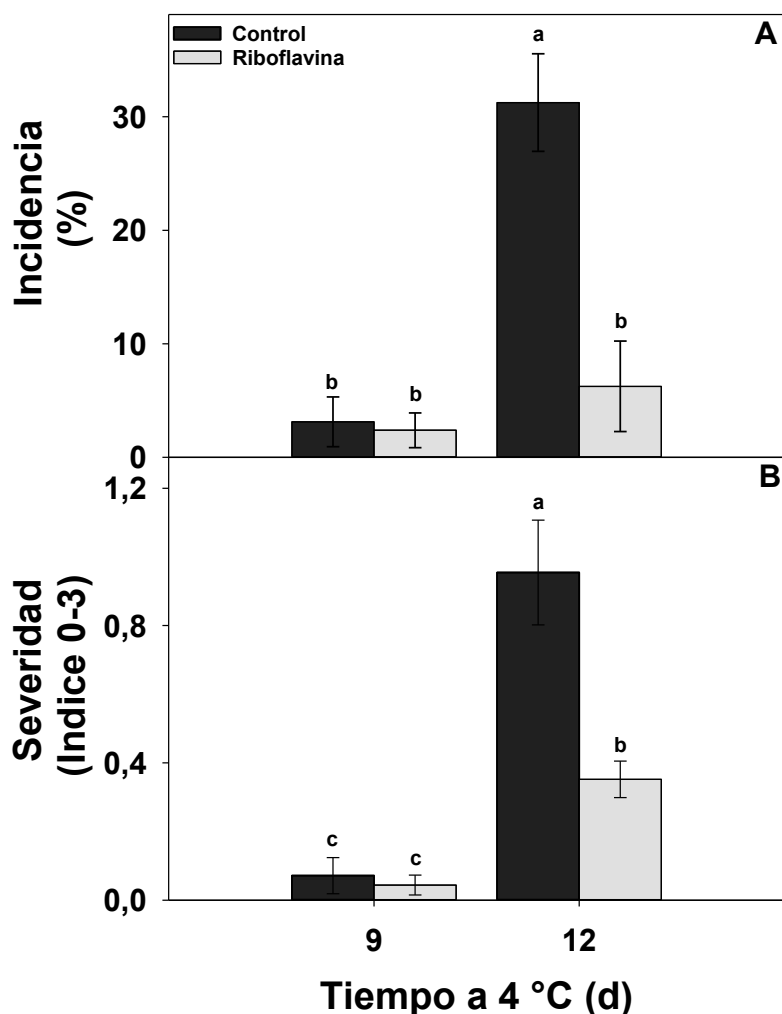


Figura 43: Incidencia de podredumbre, A. Índice de severidad de podredumbre, B. En tiras de pimiento dulce verde tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 o 12 días a 4 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

7.3.2.2. Pérdida de peso, tasa respiratoria y pérdida de electrolitos

Para caracterizar aún más el efecto de Rib sobre el metabolismo del fruto y la integridad del tejido, se determinaron los cambios en la pérdida de peso, la tasa de respiración y la pérdida de electrolitos. La pérdida de peso fue aproximadamente 2% durante el período de almacenamiento de 12 días, sin diferencias entre los frutos control o tratados con Rib (**Tabla 9**).

Tabla 9. Pérdida de peso de tiras de pimiento verde tratado con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C. Se muestra la media \pm error estándar.

Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

	Tratamiento	Tiempo (d)		
		6	9	12
Pérdida de peso (%)	Control	0,9±0,1 c	1,3±0,2 b	2,0±0,2 a
	Riboflavina	0,8±0,1 c	1,2 ±0,2 bc	1,9±0,2 a

Inmediatamente después del tratamiento de inmersión, la tasa de respiración de los tejidos fue de aproximadamente $0,4 \text{ mmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, sin diferencias con los controles (**Figura 44 A**). Posteriormente, la tasa de respiración del pimiento control mostró una tendencia creciente, alcanzando $0,95 \text{ mmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en el día 12, mientras los tejidos tratados con Rib no mostraron cambios significativos en la respiración a lo largo del período de almacenamiento.

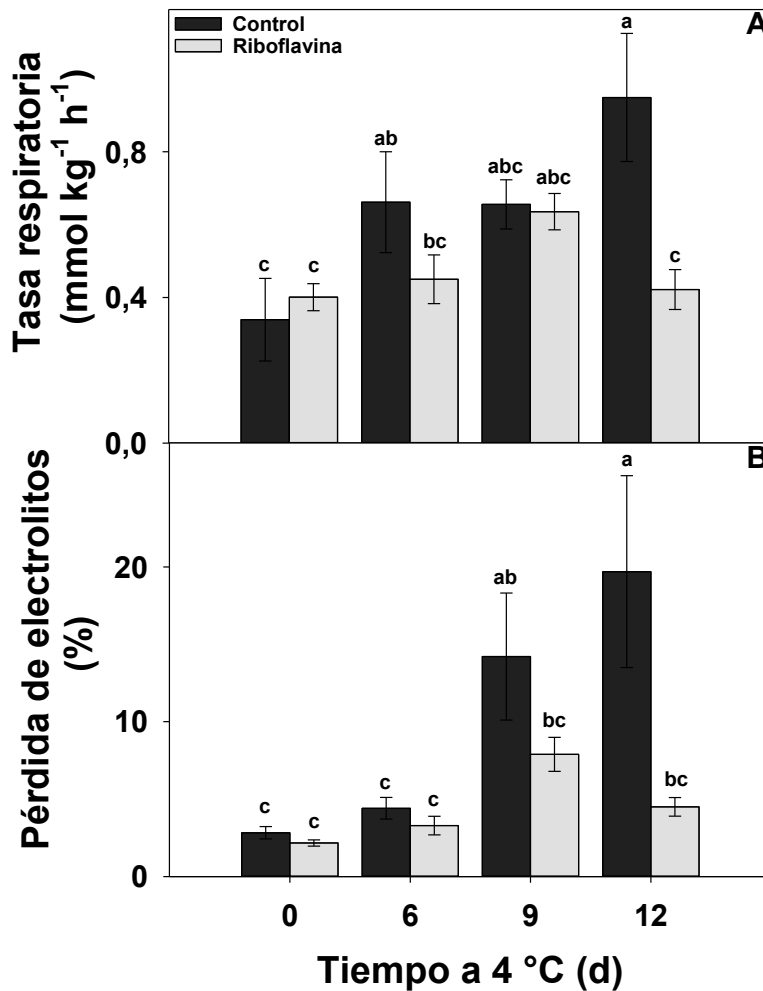


Figura 44: Tasa respiratoria, A. Pérdida de electrolitos, B. En tiras de pimiento verde dulce tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La pérdida de electrolitos (PE) no mostró variación hasta el día 6, aunque en posteriores muestreos se observó un incremento principalmente en los controles. Al día 9, el pimiento tratado ya presentaba una PE significativamente menor que el control. Las diferencias fueron aún mayores después de 12 días de almacenamiento, cuando los valores de PE fueron cuatro veces más altos en los controles que en las tiras tratadas con Rib (**Figura 44 B**). Los pimientos tratados con Rib mantuvieron durante el almacenamiento una tasa de respiración y una

pérdida de electrolitos menores que en los controles, lo que sugiere una disminución de la actividad metabólica y de la desintegración de los tejidos.

7.3.2.3. Recuentos microbianos

Los tratamientos causaron una reducción significativa en la incidencia y severidad de las podredumbres (**Figura 43**). Los recuentos de bacterias aerobias mesófilas y levaduras y mohos antes del almacenamiento fueron de 3,5 y 4,0 log UFC g⁻¹, respectivamente (**Figura 45**).

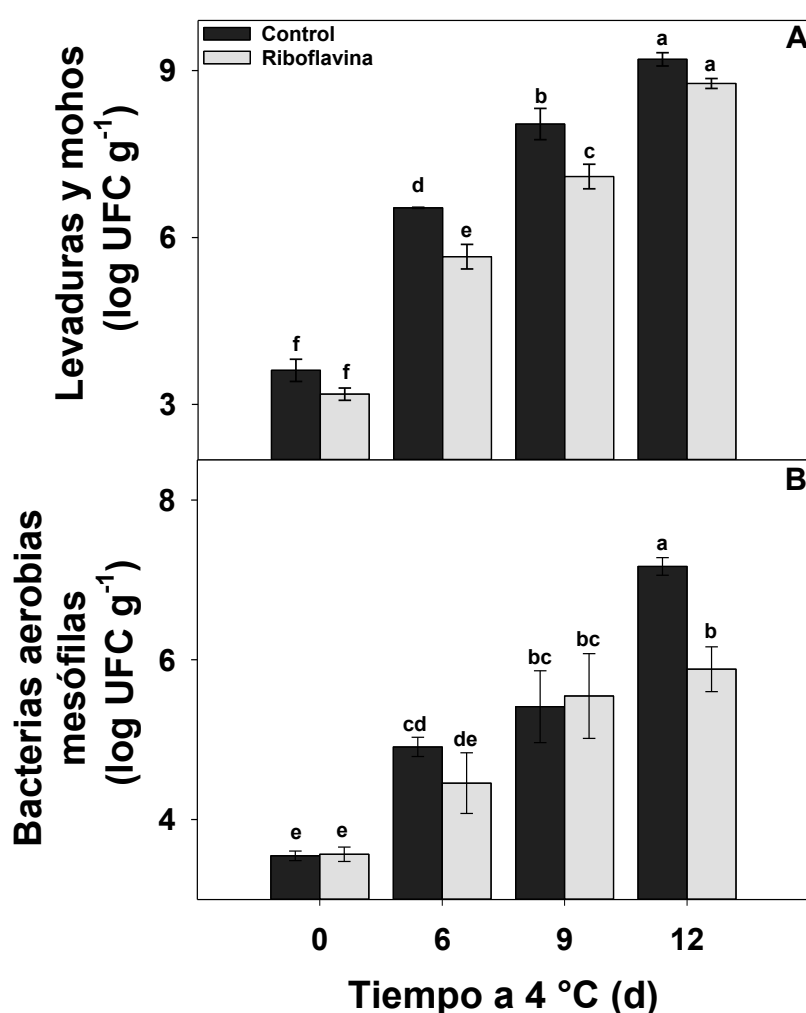


Figura 45: Levaduras y mohos, A. Recuento de bacterias aerobias mesófilas, B. En tiras de pimienta tratadas con riboflavina y almacenadas durante 6, 9 y 12 días a 4 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher a $p < 0,05$.

No se encontraron cambios en los recuentos de bacterias, levaduras y mohos inmediatamente después del tratamiento con Rib. Hacia los 12 días, los recuentos microbianos del pimiento en los controles aumentaron rápidamente, alcanzando 7,3 y 8,5 log UFC g⁻¹ para bacterias y levaduras y mohos, respectivamente. Los pimientos tratados con Rib presentaron recuentos de levaduras y mohos significativamente más bajos (~1 log) que el control después de 6 y 9 días de almacenamiento en frío. Además, hacia el último tiempo de muestreo se encontraron recuentos más bajos de bacterias aerobias mesófilas (1,4 log) en las tiras tratadas con Rib.

Hay datos opuestos en la literatura con respecto a las propiedades antimicrobianas directas de Rib. **Dong y Beer (2000)** no encontraron actividad antimicrobiana en pruebas *in vitro* contra hongos o bacterias. Por el contrario, otros autores han observado que Rib puede reducir la germinación de esporas de hongos (**Li et al., 2012**) y el crecimiento bacteriano (**Ahgilan et al., 2016**). Los conteos de bacterias mesófilas, levaduras y mohos no se vieron afectados significativamente inmediatamente después de las inmersiones de Rib. Así, al menos bajo la concentración ensayada, no se puede atribuir una acción germicida directa al tratamiento aplicado. El hecho de que Rib limite la incidencia de la enfermedad, la gravedad y los recuentos microbianos en tiempos de almacenamiento prolongados, apuntaría más a un efecto germostático, respuestas de defensa inducidas por el huésped o la combinación de ambas. Se ha informado que Rib regula a la baja genes críticos involucrados en la replicación bacteriana (**Kwon et al., 2020**), lo que indica que los efectos directos contra organismos patógenos son un posible modo de acción. La resistencia sistémica adquirida contra algunos fitopatógenos fúngicos, bacterianos y virales

informados en plantas tratadas con Rib en condiciones de campo sugiere que un papel potencial de este compuesto en la inducción del sistema de defensa (**Dong y Beer, 2000**). De acuerdo con eso, Rib y otras vitaminas del grupo B indujeron protección contra patógenos en modelos de simbiosis planta-microorganismo (**Dakora et al., 2015; Boubakri et al., 2016**). Aunque hay algunos indicios de un efecto sobre las vías de señalización subyacentes detrás de las respuestas de defensa inducidas por Rib, el mecanismo general está lejos de entenderse. Algunos estudios han sugerido que la resistencia inducida por Rib es independiente del ácido salicílico (**Dong y Beer, 2000; Zhang et al., 2009**). Se ha informado la participación de proteínas quinasas, MPK3 y MPK6, especies reactivas de oxígeno y Ca^{+2} en cascadas de activación de defensa de riboflavina (**Nie y Xu, 2016**). Sin embargo, la relevancia relativa de los mecanismos mencionados por Rib parece depender del sistema planta-patógeno considerado (**Azami-Sardooei et al., 2010**). Es importante señalar que todo este progreso proviene de observaciones realizadas en plantas enteras que se desarrollan en condiciones de campo. Con respecto a los órganos extraídos, hasta el momento, solo un estudio ha informado un mejor control de la enfermedad en respuesta a los tratamientos con Rib (**Li et al., 2012**). Los autores realizaron un tratamiento de inmersión con 0-4 mM de Rib para controlar las podredumbres por *Alternaria* en peras asiáticas almacenadas a temperatura ambiente. El presente trabajo muestra que los baños con Rib previos al almacenamiento pueden reducir el deterioro de las verduras frescas cortadas y refrigeradas.

7.3.2.3. Textura

La dureza de las tiras de pimiento antes del almacenamiento en frío fue aproximadamente de 8 N. La dureza y la rigidez disminuyeron durante el

almacenamiento en los tejidos control mientras que permaneció sin cambios en las tiras tratadas con Rib, que a su vez se mantuvieron más firmes que el control después de 9 y 12 días de almacenamiento (**Figura 46 A**). En consecuencia, después de 12 días de refrigeración, el pimiento tratado con Rib mostró valores de firmeza significativamente más altos (35%) que el control (**Figura 46 B**). También se determinó la resistencia a la flexión (RF) de las tiras de pimiento como indicador de calidad textural. El RF mostró una reducción sustancial en las tiras control durante el almacenamiento (40% de caída en 12 días). En línea con los resultados observados para la dureza y rigidez del tejido, los tratamientos con Rib evitaron dicha pérdida de RF (**Figura 46 C**).

Además del efecto benéfico inducido en cuanto al control de las podredumbres, el tratamiento con Rib también retrasó los cambios en las propiedades texturales del pimiento durante el almacenamiento. En frutos que no muestran ablandamiento de la pulpa, como el caso de pimiento, la modificación de la textura con frecuencia se relaciona con la pérdida de agua del tejido (**Ilić et al., 2017**). Sin embargo, ello no parece ser la causa en el presente trabajo ya que los efectos beneficiosos de Rib en la preservación de la textura de las tiras de pimiento ocurrieron sin diferencias en la deshidratación poscosecha entre los frutos tratados y los controles.

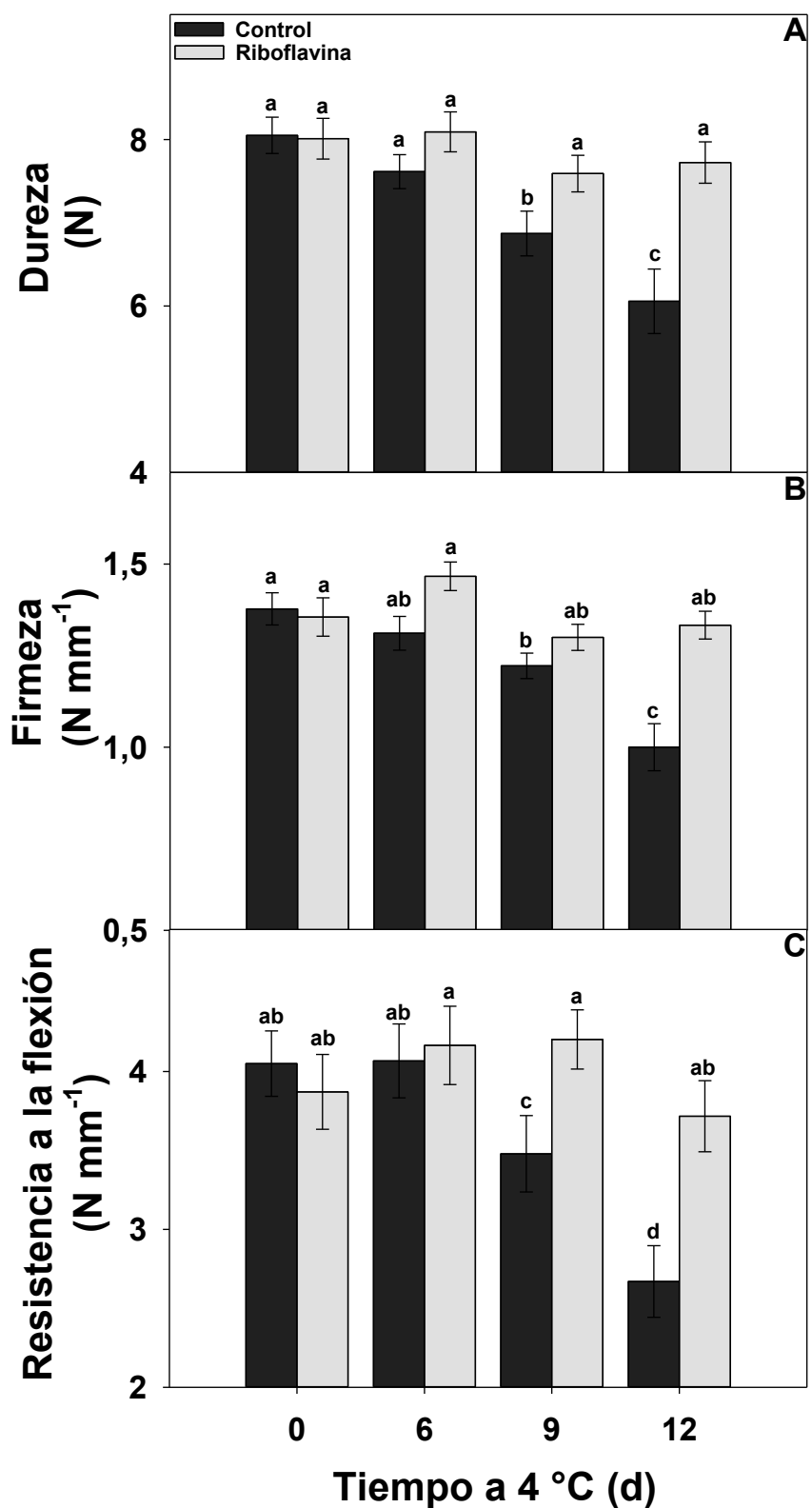


Figura 46: Dureza, A. Firmeza, B. Resistencia a la flexión, C. En tiras de pimiento dulce verde tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Dado que Rib es un agente de entrecruzamiento efectivo cuando se expone a la luz UV-A, esto puede actuar como un agente de refuerzo de la pared (**Uemura et al., 2019**). Se cree que el entrecruzamiento de materiales biopoliméricos inducido por Rib está mediado por especies reactivas de oxígeno (ROS), que ya se sabe que participan activamente en la polimerización de la lignina y el entrelazamiento de proteínas u otros componentes estructurales de la pared (**Liyama et al., 1994**). El posible papel de Rib como agente de entrecruzamiento de los polímeros de la pared celular, facilitando la cicatrización de las áreas cortadas, es atractivo dado que esto puede contribuir a explicar las diferencias en la rigidez, la fuerza y la menor susceptibilidad del tejido a la penetración de fitopatógenos (**Liyama et al., 1994**). Además, plantas tratadas con Rib han acumulado polisacáridos curativos como la callosa (**Boubakri et al., 2013**), favoreciendo un retraso en la senescencia (**Xiao et al., 2004**).

7.3.2.4. Color, azúcares y ácidos orgánicos

En cuanto al color, la luminosidad (L^*) no se vió afectada por el tratamiento ni por el tiempo de almacenamiento. Los valores del parámetro a^* aumentaron solo una unidad en 12 días, lo que indica una pérdida muy pequeña de color verde. El componente de color b^* mostró un leve aumento durante los primeros 6 días de almacenamiento, seguido de una caída final. Todos los cambios de color fueron restringidos y sin diferencias entre tratamientos (**Tabla 10**). El contenido de azúcares osciló entre 23 y 29 g kg⁻¹, y no mostró variación durante el almacenamiento ni difirió entre los tratamientos. Los ácidos cítrico y quínico representaron el 75% del total de ácidos orgánicos, seguidos por el ácido málico. La acidez titulable presentó una tendencia decreciente durante el almacenamiento en frío, pero también sin diferencias entre las tiras control o

tratadas. La disminución de la acidez se debió principalmente a una caída del ácido cítrico. Aparte de eso, no hubo alteraciones en los perfiles de acidez en respuesta a los tratamientos con Rib. La riboflavina es un compuesto amarillo y fluorescente bajo la exposición a la luz azul. Trabajos previos informaron que el tratamiento con Rib deja un color amarillo residual (**Dong y Beer, 2000**). Sin embargo, la concentración utilizada aquí no alteró el color del tejido. Los azúcares solubles, el ácido cítrico, málico o quínico tampoco se vieron afectados por el tratamiento. Colectivamente, estos resultados muestran que los tratamientos con soluciones de Rib no alteran el color del pimiento ni los compuestos relacionados con el sabor.

Tabla 10. Color (L^* a^* , b^*), azúcares, acidez total, ácido cítrico, málico, y quínico en tiras de pimiento verde tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C. Se muestra la media \pm error estándar. Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

	Tratamiento	Tiempo 4 °C (días)			
		0	6	9	12
L^*	<i>Control</i>	38,3 \pm 0,5 c	39,8 \pm 0,6 ab	41,3 \pm 0,9 a	39,2 \pm 0,6 bc
	<i>Riboflavina</i>	38,2 \pm 0,5 c	39,2 \pm 0,7 bc	39,3 \pm 0,6 abc	39,3 \pm 0,6 bc
a^*	<i>Control</i>	-16,3 \pm 0,2 b	-16,4 \pm 0,4 b	-15,0 \pm 0,4 a	-15,1 \pm 0,2 a
	<i>Riboflavina</i>	-16,2 \pm 0,2 b	-16,0 \pm 0,5 ab	-16,1 \pm 0,3 ab	-15,2 \pm 0,4 a
b^*	<i>Control</i>	23,0 \pm 0,5 b	25,9 \pm 0,6 a	20,4 \pm 0,7 c	21,2 \pm 0,5 bc
	<i>Riboflavina</i>	22,8 \pm 0,5 b	24,9 \pm 1,1 a	22,6 \pm 0,6 bc	21,0 \pm 0,9 bc
Azúcares (g kg ⁻¹)	<i>Control</i>	22,7 \pm 0,3 a	28,7 \pm 0,2 a	25,1 \pm 0,2 a	23,4 \pm 0,2 a
	<i>Riboflavina</i>	23,9 \pm 0,2 a	26,4 \pm 0,2 a	29,2 \pm 0,1 a	27,4 \pm 0,5 a
Ac. Totales (g kg ⁻¹)	<i>Control</i>	3,1 \pm 3 $\times 10^{-3}$ a	2,0 \pm 2 $\times 10^{-3}$ c	2,3 \pm 1 $\times 10^{-2}$ c	2,5 \pm 3 $\times 10^{-2}$ c
	<i>Riboflavina</i>	3,0 \pm 1 $\times 10^{-2}$ ab	2,0 \pm 2 $\times 10^{-2}$ c	2,1 \pm 9 $\times 10^{-3}$ c	2,5 \pm 1 $\times 10^{-3}$ c
Ac. Cítrico (g kg ⁻¹)	<i>Control</i>	1,0 \pm 2 $\times 10^{-2}$ a	0,2 \pm 3 $\times 10^{-3}$ b	0,3 \pm 2 $\times 10^{-3}$ b	0,4 \pm 6 $\times 10^{-3}$ b
	<i>Riboflavina</i>	1,2 \pm 4 $\times 10^{-3}$ a	0,3 \pm 5 $\times 10^{-3}$ b	0,3 \pm 4 $\times 10^{-3}$ b	0,4 \pm 4 $\times 10^{-3}$ b
Ac. Quínico (g kg ⁻¹)	<i>Control</i>	1,3 \pm 1 $\times 10^{-3}$ a	1,1 \pm 2 $\times 10^{-3}$ ab	1,2 \pm 6 $\times 10^{-3}$ ab	1,3 \pm 2 $\times 10^{-2}$ ab
	<i>Riboflavina</i>	1,1 \pm 3 $\times 10^{-3}$ ab	1,1 \pm 1 $\times 10^{-2}$ b	1,0 \pm 2 $\times 10^{-3}$ b	1,2 \pm 5 $\times 10^{-3}$ ab
Ac. Málico (g kg ⁻¹)	<i>Control</i>	0,8 \pm 3 $\times 10^{-3}$ ab	0,6 \pm 1 $\times 10^{-3}$ b	0,6 \pm 3 $\times 10^{-3}$ b	0,8 \pm 9 $\times 10^{-3}$ ab
	<i>Riboflavina</i>	0,7 \pm 3 $\times 10^{-3}$ ab	0,6 \pm 7 $\times 10^{-3}$ b	0,7 \pm 3 $\times 10^{-3}$ ab	0,8 \pm 1 $\times 10^{-3}$ ab

7.3.2.5. Ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante

El contenido de ácido ascórbico disminuyó durante el almacenamiento sin diferencias entre tratamientos (**Figura 47 A**). Los compuestos fenólicos totales de las tiras de pimiento control mostraron una disminución constante durante el almacenamiento. Los fenoles también se redujeron en los pimientos tratados, pero de forma más limitada. En consecuencia, los pimientos tratados con Rib conservaron niveles más altos de fenoles después de 9 y 12 días a 4 °C (**Figura 47 B**).

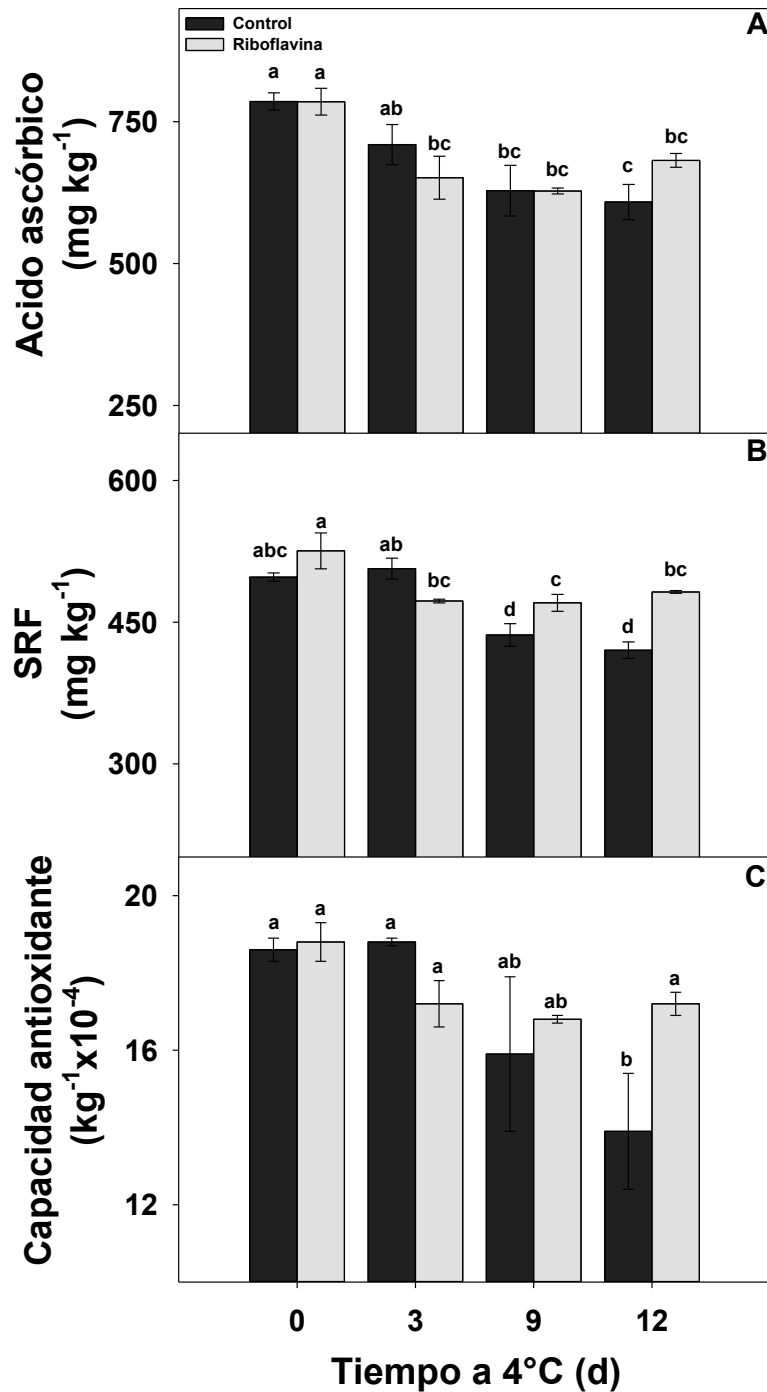


Figura 47: Ácido ascórbico, A. Sustancias reactivas al reactivo de Folin-Ciocalteu (SRF), B. Capacidad antioxidante frente al radical DPPH^{*}, C. De tiras de pimiento tratados con riboflavina y almacenados durante 6, 9 y 12 días a 4 °C. Cada valor de columna y barra representan la media y el error estándar, respectivamente. Las letras indican diferencias significativas basadas en una prueba de Fisher a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La capacidad de captación de radicales DPPH[•] no se vio afectada inmediatamente después de los tratamientos ni hasta los 9 días de almacenamiento. Hacia los 12 días, la capacidad antioxidante disminuyó en los controles mientras que se mantuvo estable en las tiras tratadas con Rib (**Figura 47 C**).

En cuanto a los compuestos antioxidantes, la aplicación de Rib también resultó beneficiosa. Tal efecto podría ser una consecuencia del mantenimiento de la integridad general del tejido, como se muestra en los resultados de pérdida de electrolitos y textura (**Figuras 44 y 46**). Los compuestos fenólicos son potentes captadores de radicales libres en frutas y verduras (**Cisneros-Zevallos, 2021**). Un nivel más alto de compuestos fenólicos totales parece explicar la menor pérdida de capacidad antioxidante en las tiras de pimiento tratadas con Rib (**Figura 47 B**). **Li et al., (2012)** encontraron una mejor tolerancia a la descomposición fúngica y un mayor nivel de compuestos fenólicos en frutos de pera tratados con Rib. En línea con eso, Rib puede regular positivamente la expresión de genes en la ruta de los fenilpropanoides (**Taheri et al., 2011**). Basado en ello, sería factible relacionar la mayor retención de compuestos fenólicos en los tejidos tratados con Rib con una menor incidencia de podredumbres blandas (**Figura 45**). Si las presentes observaciones obedecen a una asociación causal requeriría de ensayos adicionales. El ácido ascórbico, uno de los antioxidantes más abundantes en pimiento, se considera la vitamina más lábil, ya que se destruye relativamente rápido por las altas temperaturas, exposición a la luz, cambios de pH o incluso la presencia de iones metálicos (**Njus et al., 2020**). En el presente estudio, la pérdida de ácido ascórbico durante el almacenamiento fue relativamente pequeña y sin diferencias entre

tratamientos (**Figura 47**). Esto es particularmente relevante ya que, en algunas matrices alimentarias, Rib degrada rápidamente el ácido ascórbico en presencia de oxígeno y luz (**Choe et al., 2005; Alvarado et al., 2022**). Serían necesarios más trabajos para caracterizar completamente el efecto de Rib en el metabolismo antioxidante enzimático y no enzimático de los frutos. **Ashoori y Saedisomeolia (2014)** informaron que Rib podría alterar la actividad de flavoenzimas clave como glutatión reductasa que modulan los niveles de reguladores redox como el glutatión.

La riboflavina (Rib) es un precursor de los metabolitos centrales en bacterias, plantas y animales (**Serer et al., 2019**). Sus derivados FMN y FAD juegan papeles cruciales como cofactores para reacciones catalizadas por enzimas. Se sabe que el agotamiento de la Rib afecta la función mitocondrial (**Mosegaard et al., 2020**). Las flavoenzimas participan en la desaturación de ácidos grasos y el plegamiento de polipéptidos oxidativos dentro del retículo endoplásmico (**Lienhart et al., 2013; Kodali y Thorpe, 2010**). Así, el metabolismo de proteínas y lípidos también depende de la disponibilidad de riboflavina. En la industria alimentaria, Rib se considera un aditivo seguro o GRAS. Hasta ahora, el uso de Rib era para fines de suplementación (**Averianova et al., 2020**). Aunque su deficiencia no es muy común, en algunos casos sus niveles pueden reducirse notablemente durante el procesamiento. Es el caso de las harinas de cereales, en las que frecuentemente se añade Rib junto con otras vitaminas del grupo B y minerales como el Fe (**Suwannasom et al., 2020**). El uso de Rib en frutas y alimentos derivados de vegetales es poco frecuente. Basado en algunos informes anteriores que indican el papel de Rib en la prevención de enfermedades en cultivos de campo (**Dong y Beer, 2000**) y aclimatación al

estrés (**Guhr et al., 2017**), se decidió probar su eficacia como agente conservante en hortalizas MMP. La concentración de Rib seleccionada en este trabajo ($100 \mu\text{mol l}^{-1}$) es comparable con la utilizada por **Azami-Sardooui et al. (2010)** y **Guhr et al. (2017)**, pero considerablemente más baja (5 a 100 veces) que la usada en la mayoría de los demás estudios en cultivos (**Dong y Beer, 2000; Zhang et al., 2009**). La alta ingesta de Rib generalmente no se considera un problema. Sin embargo, pueden ocurrir algunas alteraciones en la orina (**Kenefick et al., 2015**). Dada la concentración de la solución Rib utilizada ($100 \mu\text{mol l}^{-1}$) y el volumen de la solución de inmersión absorbida (22 ml) por kilogramo de tejido de pimiento fresco, y suponiendo una estabilidad del 100% para la riboflavina (descontando cierta degradación por la luz, probablemente inevitable durante el tratamiento y el empaque), los pimientos aumentarían su contenido de Rib en aproximadamente 1 mg kg^{-1} . Este nivel es cercano al que generalmente se encuentra en los pimientos (**USDA, 2022**) y es comparable con el contenido de varios alimentos ricos en Rib (**Price y Welch, 2013**). Además de esta estimación, sería necesario determinar la Rib en los tejidos del fruto realizando un estudio completo sobre el destino de la Rib aplicada en el ambiente de poscosecha.

Con respecto a los posibles mecanismos involucrados, surgen varias preguntas interesantes. Una es si existe un nexo entre las respuestas de Rib y las flavoenzimas involucradas en el control epigenético, como la desmetilasa específica de lisina (**Hino et al., 2012**). Experimentos adicionales deberían explorar si dichos mecanismos contribuyen a los efectos de preservación en poscosecha observados luego de aplicaciones con Rib. En cualquier caso, los

resultados presentados muestran claramente que Rib puede ser un agente conservante adecuado para hortalizas mínimamente procesadas.

7.4. CONCLUSIONES

Inmersiones cortas (5 min) en $100 \mu\text{mol l}^{-1}$ de Rib redujeron la incidencia y la severidad de la podredumbre del pimiento, manteniendo la integridad del tejido y retrasando el aumento de la respiración y la pérdida de electrolitos, lo que finalmente preservó la calidad textural de los tejidos tratados. La riboflavina no provocó alteraciones en el color, azúcares, ácidos o pérdida de peso y además redujo los recuentos de levaduras y mohos y bacterias aerobias mesófilas durante el almacenamiento, lo que ayudó a mejorar la vida útil del producto. En conjunto, el presente trabajo demuestra que la riboflavina puede ser un agente conservante GRAS adecuado para productos mínimamente procesados.

8. Conclusión general

Los resultados encontrados en los ensayos realizados en las primeras instancias de la presente tesis (**Capítulos 3, 4, 5 y 6**) indican que tanto la intensidad de exposición a la luz como así también el tiempo de exposición son dos factores importantes que determinan la eficacia de los tratamientos poscosecha con luz. Lo anterior pudo probarse para tres sistemas diferentes, dos hortalizas como brócoli (procesado y sin procesar) y kale, y en flores de corte como *Alstroemeria*. En primera instancia, reportamos que de las tres intensidades aplicadas sobre brócoli procesado ($3,6 \text{ W m}^{-2}$, $9,5 \text{ W m}^{-2}$ y $19,0 \text{ W m}^{-2}$) durante 3, 6, 12 o 24 h encontramos que la exposición a una fuente LED blanca de intensidad $9,5 \text{ W m}^{-2}$ (intensidad “media”) durante 3 h fue efectiva en retrasar la degradación de la clorofila. Estas condiciones específicas podrían ser recomendadas como una estrategia no química efectiva para el diseño de tratamientos para productos de brócoli procesado en góndola, el diseño de equipos exhibidores o refrigeradores equipados con luz para retrasar el desarrollo del principal defecto de vegetales verdes, el amarillamiento por degradación de clorofilas.

Avanzando en los estudios sobre cabezas de brócoli entero, que representa la forma más común de comercialización de esta hortaliza en nuestro país, encontramos que la exposición a ciclos cortos, de 3 h por día, con luz blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ durante el almacenamiento refrigerado también fue efectiva para retrasar el amarillamiento y mantener la calidad. En este sentido la condición mencionada podría ser de interés para el sector de comercialización mayorista, minorista o bien el transporte ya que habitualmente el brócoli es empacado en cajones de tal forma que las cabezas quedan totalmente expuestas a la luz.

En una tercera instancia de trabajo sobre la caracterización de los efectos del almacenamiento refrigerado bajo condiciones de iluminación LED, encontramos que una intensidad de 7 W m^{-2} también maximizó la retención de color en kale verde y morado en comparación con otras tres condiciones evaluadas, 2 o 18 W m^{-2} , o mantenidas en oscuridad. La aplicación de luz en poscosecha de estas hojas podría generar beneficios significativos en términos de mantener la calidad no solo en hojas dispuestas en monocapa sino también cuando el producto se exhibe en góndola en un formato multicapa. El control de la intensidad de luz a la que son expuestos los vegetales en poscosecha podría ser una técnica limpia y relativamente sencilla para complementar los beneficios de la refrigeración en la venta minorista.

Los resultados encontrados en los ensayos de almacenamiento de *Alstroemeria* indican que la exposición por 16 h diarias a luz blanco cálido y rojo-azul de 12 W m^{-2} resulta beneficiosa en *Alstroemeria* almacenada a temperatura ambiente. La iluminación con luz blanco cálido mejoró la conservación de las flores almacenadas a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ al tiempo que además fue efectiva en conservar la calidad de los tallos florales durante el almacenamiento prolongado a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. La producción de flores de corte representa un mercado importante para el cinturón hortícola platense el cual podría beneficiarse de los resultados hallados aquí.

Finalmente, en la búsqueda de compuestos naturales de conservación de productos vegetales evaluamos la efectividad de la riboflavina (Vitamina B2) para retrasar el deterioro de pimiento fresco cortado. Encontramos que inmersiones de 5 min en $100 \mu\text{mol l}^{-1}$ de la vitamina redujeron la incidencia y la severidad de la podredumbre del pimiento sin modificar la apariencia característica de este producto. Esta nueva propiedad de la riboflavina como conservante natural

puede significar la disponibilidad de una nueva herramienta para ser aprovechada por la industria de los mínimamente procesados que busquen tratamientos naturales de conservación.

En conjunto, la presente tesis aporta conocimiento sobre tecnologías limpias y seguras tendientes a reducir los desperdicios de vegetales y mantener la calidad poscosecha de hortalizas y flores de corte.

9. Referencias

Aalifar, M., Aliniaiefard, S., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Dianati Daylami, S., Serek, M., & Li, T. (2020). Blue light improves vase life of carnation cut flowers through its effect on the antioxidant defense system. *Frontiers in Plant Science*, 11, pp 511. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00511>

Aguayo, E., Escalona, V., & Artés F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh cut 'Amarillo' melon. *Postharvest Biol. Technol.* 47, pp 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.001>

Aguayo, E., Gómez, P., Artés-Hernández, F., & Artés, F. (2017). Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia (Uruguay)*, 21(1), pp 7-14. Versión On-line ISSN 2301-1548

Ahgilan, A., Sabaratnam, V., & Periasamy, V. (2016). Antimicrobial properties of vitamin B2. *Int. J. Food Prop.* 19, pp 1173-1181. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1076459>

Ahmad, M. S., & Siddiqui, M. W. (2015). Factors affecting postharvest quality of fresh fruits. In *Postharvest quality assurance of fruits*. pp. 7-32. Springer, Cham. ISBN: 978-3-319-21197-8

Aiamla-or, S., Kaewsuksaeng, S., Shigyo, M., Yamauchi, N. (2010). Impact of UV-B irradiation on chlorophyll degradation and chlorophyll-degrading enzyme activities in stored broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) florets. *Food Chemistry*, 120, pp 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.056>

Aker, S. y Healy, W. (1990). Patrón temporal de crecimiento en *Alstroemeria*. HortScience, 25 (9), pp 1079G-1079.

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.9.1079>

Alegre Vilas, I., Abadias i Sero, M., Colás Medà, P., Collazo Cordero, C., & Viñas Almenar, I. (2020). Bioconservación frente a patógenos de transmisión alimentaria en frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Arbor, 2020, vol. 196, num. 795, pp. 1-11. <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1007>

Ali, A., Yeoh, W. K., Forney, C., & Siddiqui, M. W. (2018). Advances in postharvest technologies to extend the storage life of minimally processed fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58(15), pp 2632-2649. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1339180>

Ali, S., Masud, T., Ali, A., Abbasi, K. S., & Hussain, S. (2015). Influence of packaging material and ethylene scavenger on biochemical composition and enzyme activity of apricot cv. Habi at ambient storage. Food Sci. Qual. Manag, 35, pp 73-82. ISSN 2224-6088

Aliniaiefard S., Falahi Z., Dianati Daylami S., Li T., and Woltering E. (2020). Postharvest spectral light composition affects chilling injury in anthurium cut flowers. Frontiers in Plant Science, 11: pp 846 <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00846>

Alvarado, U., Zamora, A., Arango, O., Saldo, J., & Castillo, M. (2022). Prediction of riboflavin and ascorbic acid concentrations in skimmed heat-treated milk using front-face fluorescence spectroscopy. J Food Eng. 318, 110869. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110869>

Andersson, R., Westerlund, E., Åman, P. (2006). Cell-wall polysaccharides: structural, chemical, and analytical aspects. In: Eliasson, A.C. (Ed.),

Carbohydrates in Food. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, pp. 151.

<https://doi.org/10.1201/9781420015058>

Ansah, F., Amodio, M. L., de Chiara, M. L. V., & Colelli, G. (2018). Effects of equipments and processing conditions on quality of fresh-cut produce. *J. Agric. Eng.* pp 49. [DOI: 10.4081/jae.2018.827](https://doi.org/10.4081/jae.2018.827)

Anvari, M., Hashemabadi, D., Asadpour, L. y Kaviani, B. (2022). Efecto de la luz azul y la nanoplata sobre la vida en florero, las enzimas antioxidantes y algunos otros parámetros fisiológicos de las flores cortadas de *Alstroemeria* 'Napoli'. *acta científico polonorum hortorum Cultus*, 21(5), pp 111-122.

<https://doi.org/10.24326/asphc.2022.5.10>

Argentino, C. A. (2007). Capítulo XII, Bebidas Hídricas, Agua, y Agua Gasificada, Art. 982 AGUA POTABLE”. *Resol. Conjunta*, 68, 2007.

Aros, D., Suazo, M., Rivas, C.P., Zapata, C. Úbeda y M. Bridgen. (2019). Molecular and morphological characterization of new interspecific hybrids of *alstroemeria* originated from *A. caryophylleae* scented lines. *Euphytica* 215, pp 93. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2415-4>

Arram, L., & Munné -Bosch, S. (2012). Sucrose accelerates flower opening and delays senescence through a hormonal effect in cut Lily. *Ciencia vegetal*, 188, pp 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.02.012>

Artés, F., & Allende, A. (2005). Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables. *European Journal of Horticultural Science*, 70(5), pp 231. ISSN 1611-4426

Artés-Hernández, F., Martínez-Hernández, G. B., Aguayo, E., Gómez, P. A., & Artés, F. (2017). Fresh-cut fruit and vegetables: Emerging eco-friendly

techniques for sanitation and preserving safety. Postharvest Handling, Ibrahim Kahramanoglu, Intech Open, [DOI: 10.5772/intechopen.69476](https://doi.org/10.5772/intechopen.69476).

Ashoori, M., & Saedisomeolia, A. (2014). Riboflavin (vitamin B2) and oxidative stress: A review. *British J. of Nutr.* 111, pp 1985-1991. [doi:10.1017/S0007114514000178](https://doi.org/10.1017/S0007114514000178)

Averianova, L. A., Balabanova, L. A., Son, O. M., Podvolotskaya, A. B., & Tekutyeva, L. A. (2020). Production of vitamin B2 (riboflavin) by microorganisms: an overview. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.570828>

Ayala, F., Echávarri, J. F., Olarte, C., Sanz, S. (2009). Quality characteristics of minimally processed leek packaged using different films and stored in lighting conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 44, pp 1333-1343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01962.x>

Azami-Sardooei, Z., França, S. C., De Vleeschauwer, D., & Höfte, M. (2010). Riboflavin induces resistance against *Botrytis cinerea* in bean, but not in tomato, by priming for a hydrogen peroxide-fueled resistance response. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 75, pp 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2010.08.001>

Bagheri, H.; Hashemabadi D.; Sedaghatthoor S. (2012) Mejora de la vida en florero y la calidad poscosecha de flores *híbridas de Alstroemeria cortadas* a través del ácido naftaleno acético (NAA). *Revista Europea de Biología Experimental*, 2: pp 2481-2484. ISSN: 2248-9215

Bai, C., Fang, M., Zhai, B., Ma, L., Fu, A., Gao, L., & Zuo, J. (2021). Regulations of m6A Methylation on Tomato Fruit Chilling Injury. *Horticultural Plant Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.05.005>

Balcaza, L.F. (2006). Fertilización de pimiento bajo cubierta en la región platense. *Boletín Horticola*, 34, pp 13-18. ISSN 03228-719X Disponible en: <https://docplayer.es/84991316-Ing-agr-luis-f-balcaza-aer-inta-gran-buenos-aires.html>

Baldwin, E. A. (2002). Coatings and other supplemental treatments to maintain vegetable quality. In *Postharvest Physiology and pathology of Vegetables*, pp. 413 - 456. <https://doi.org/10.1201/9780203910092>

Bantis, F.; Smirnakou, S.; Ouzounis, T.; Koukounaras, A.; Ntagkas, N.; Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae* 235: pp 437 - 451. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>

Bárcena, A., Martínez, G. & Costa, L. (2019). Low intensity light treatment improves purple kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) postharvest preservation at room temperature. *Heliyon*, 5(9): e02467. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02467>

Bates, C. J. (2013). Riboflavin, In: *Encyclopedia of Human Nutrition* (Third Edition), Caballero, B. (Ed). Academic Press. Pp 158.

Batiha, G. E. S., Hussein, D. E., Algammal, A. M., George, T. T., Jeandet, P., Al-Snafi, A. E., Tiwari, A., Pagnossa, J. P., Lima, C. M., Thorat, N. D., Zahoor, M., El-Esawi, M., Dey, A., Alghamdi, S., Hetta, H. F., & Cruz-Martins, N. (2021). Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views. *Food Contr.* 108066. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108066>

Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. L., Hernández-López, M., & Rodríguez-González, F. (2016). Morphological and ultrastructural modifications of chitosan-treated fungal phytopathogens. In: Bautista-Baños, S., Romanazzi, G., &

Jiménez-Aparicio, A. (Eds.), Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities (pp. 251-271). USA: Academic Press/Elsevier. [doi:10.1016/B978-0-12-802735-6.00009](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802735-6.00009)

Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z., & Corona-Rangel, M. L. (2017). Quitosano: Un polisacárido antimicrobiano versátil para frutas y hortalizas en poscosecha-una revisión. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 23(2), 103-122. [doi: http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030](http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030)

Benzoni, T., & Hatcher, J. D. (2022). Bleach toxicity. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441921/>

Bhargava, A. & Bansal, A. (2021). Evaluación de la calidad de frutas y hortalizas mediante visión artificial: una revisión. *Diario de la Universidad Rey Saud Ciencias de la Computación e Información*, 33 (3), pp 243-257. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.06.002>

Biswal, B. (1995). Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30(1), pp 3-13. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(95\)07197-A](https://doi.org/10.1016/1011-1344(95)07197-A)

Bjorkman, M., Klingen, I., Birch, A.N.E., Bones, A.M., Bruce, T.J.A., Johansen, T.J., Meadow, R., Molmann, J., Seljasen, R., Smart, L.E., & Stewart, D. (2011). Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health-influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochem.* 72, pp 538–556. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.014>

Boerzhijin S, Makino, S, Yokota, Hirai M, Sotome I, & Yoshimura M. (2020). Effect of perforation-mediated modified atmosphere packaging on the quality and bioactive compounds of soft kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* (DC)

Alef. var. *sabellica* L.) during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100427.

<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100427>

Bosch, A. M. (2019). Chapter 13: Riboflavin, In: *Principles of nutrigenetics and nutrigenomics*. De Caterina, R., Martinez, J. A., & Kohlmeier, M. (Eds.). Academic Press, pp 283-286. ISBN 978-0-12-804572-5.

Boubakri, H., Chong, J., Poutaraud, A., Schmitt, C., Bertsch, C., Mliki, A., Masson, J., & Soustre-Gacougnolle, I. (2013). Riboflavin (Vitamin B2) induces defence responses and resistance to *Plasmopara viticola* in grapevine. *Eur. J. Plant Pathol.* 136, pp 837-855. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0211-x>

Boubakri, H., Gargouri, M., Mliki, A., Brini, F., Chong, J., & Jbara, M. (2016). Vitamins for enhancing plant resistance. *Planta* 244, pp 529-543. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>

Braidot, E., Petrusa, E., Peresson, C., Patui, S., Bertolini, A., Tubaro, F., Wählby, U., Coan, M., Vianello, A., Zancani, M. (2014). Low-intensity light cycles improve the quality of lamb's lettuce (*Valerianellaolitoria* [L.] Pollich) during storage at low temperature. *Postharvest. Boil. Technol.* 90, pp 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.003>

Branas, C., Azcondo, F.J., Alonso, J.M. (2013). Solid-state lighting: a system review. *IEEE Ind. Electron. Mag.* 7, pp 6–14. [doi: 10.1109/MIE.2013.2280038](https://doi.org/10.1109/MIE.2013.2280038).

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.*, 28, pp 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Bridgen, M.P. (2018) *Alstroemeria*. Páginas. 231-236. En: *Ornamental Crops, Handbook of Plant Breeding 11*, (Van Huylbroeck, J., ed.). Springer International Publishing AG. Basel, Suiza. [DOI: 10.1007/978-3-319-90698-0_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90698-0_10)

Bridgen, M.P. (1993) *Alstroemeria*. En: De Hertogh AA, Le Nard M (eds) La fisiología de los bulbos de flores: un tratado completo sobre la fisiología y la utilización de plantas bulbosas y tuberosas con flores ornamentales. Elsevier Publishing, Ámsterdam, Londres, Nueva York, Tokio, pp 201–209.

Brouwer, B., Gardeström, P., & Keech, O. (2014). In response to partial plant shading, the lack of phytochrome A does not directly induce leaf senescence but alters the fine-tuning of chlorophyll biosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 65, 4037-4049. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru060>

Büchert, A.M., Civello, P.M., Martínez, G.A. (2011). Effect of hot air, UV-C, white light and modified atmosphere treatments on expression of chlorophyll degrading genes in postharvest broccoli (*Brassica oleracea* L.) florets. *Scientia Horticulturae*, 127, 214-219. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.11.001>

Buitendijk, J.H. (1998) Una caracterización citológica de los genomas de *Alstroemeria*, la producción de híbridos interespecíficos y su desempeño durante la micropropagación. Doctor. Tesis. Wageningen. Los países bajos. ISBN 90-5485-864-8

Calero, F.A. (2018) Las industrias de IV gama. Generalidades Hortalizas mínimamente procesadas. Disponible en:

<https://www.bibliotecahorticultura.com/wpcontent/uploads/2018/08/ART%C3%89S-CALERO-Francisco.-Febrero-2018.-Las-industrias-de-IV-gama.-Generalidades.-Hortalizas-m%C3%ADnimamente-procesadas-TC.pdf>

Calvo, G., Candan, A. P., Gomila, T., & Colodner, A.D. (2018). Tecnología de poscosecha de fruta de pepita. Ediciones INTA, 1a ed., Río Negro, Argentina. ISBN 978-987-521-957-1.

Cantwell, M. (2013). Pimientos: Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Indicadores básicos en español. Agriculture and Natural Resources.

Capotorto, I., Amodio, M. L., Blanco Diaz, M. T., & Colelli, G. (2017). Effect of anti-browning solutions on quality of fresh-cut fennel during storage. Postharvest Biol. Technol. 137,21-30. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.014>

Casajús, V., Civello, P., Martínez, G., Howe, K., Fish, T., Yang, Y., Thannhauser, T., & Gomez Lobato, M. (2021). Effect of continuous white light illumination on glucosinolate metabolism during postharvest storage of broccoli. LWT- Food Science and Technology, 145: 111302.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111302>

Castagnino, A.M., Díaz, K., Fernandez Lozano, J., Guisolis, A. P., Liverotti, O., Rosini, M.B., & Sasale, S. (2020). Panorama del sector hortícola argentino: 1. Caracterización y prioridades de la horticultura nacional. ISSN de la edición on line 1851-9342.

Castillejo, N., Martínez-Zamora, L., Gómez, P. A., Pennisi, G., Crepaldi, A., Fernández, J. A., Orsini, F., and Artés-Hernández, F. (2021). Postharvest LED lighting: effect of red, blue and far red on quality of minimally processed broccoli sprouts. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(1), pp 44-53.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.10820>

Chanasut, U., Rogers, HJ, Leverentz, MK, Griffiths, G., Thomas, B., Wagstaff, C. y Stead, AD. (2003). Increasing flower longevity in *Alstroemeria*. Postharvest Biology and Technology, 29, 325-333. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00048-6)

Charles, F., Nilprapruck, P., Roux, D., & Sallanon, H. (2018). Visible light as a new tool to maintain fresh-cut lettuce post-harvest quality. *Postharvest Biology and Technology*, 135, 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.024>

Chaves, A. L. S., & Mello-Farias, P.C.D. (2006). Ethylene and fruit ripening: from illumination gas to the control of gene expression, more than a century of discoveries. *Genetics and Molecular Biology*, 29, 508-515. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572006000300020>

Chiesa, A. (2010). Factores precosecha y postcosecha que inciden en la calidad de la lechuga. *Horticultura Argentina*, 29 (68): pp 28-32.

Choe, E., Huang, R., & Min, D.B. (2005). Chemical reactions and stability of riboflavin in foods. *J. Food Scie.* 70, pp R28-R36. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09055.x>

Cieza, R. (2018). La Actividad florícola en el partido de La Plata. En R. Cieza Ed, *Sistemas productivos periurbanos en el sur del área metropolitana de Buenos Aires*. 1era ed., pp. 59-81. Ciccus. ISBN 978-987-693-741-2.

Cieza, R. I. (2014). Caracterización de la producción Florícola en el Partido de La Plata. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 113(1), 28-37. ISSN 0041-8676

Cisneros-Zevallos, L. (2021). The power of plants: How fruit and vegetables work as source of nutraceuticals and supplements. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72, 660-664.

<https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1852194>

Collier, DE (1997). Cambios en la respiración, proteínas y carbohidratos de tépalos de tulipán y pétalos de *Alstroemeria* durante el desarrollo. *Revista de fisiología vegetal*, 150, 446-451. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(97\)80096-](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80096-)

[X](#)

Corbo, M.R., Speranza, B., Campaniello, D., D'amato, D. y Sinigaglia, M. (2010). Conservación de frutas recién cortadas: estado actual y tecnologías emergentes. Temas actuales de investigación, tecnología y educación en microbiología aplicada y biotecnología microbiana, 2, pp 1143-1154.

Costa, L., Montano, Y.M., Carrión, C., Rolny, N. & Guiamet, J.J. (2013). Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. Postharvest Biology and Technology 86, 181-191.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.017>

Costa, L., Vicente, A. R., Civello, P. M., Chaves, A. R., Martínez, G. A. (2006). UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. Postharvest Biology and Technology, 39, pp 204-210.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.012>

Coupe, S. A., Sinclair, B. K., Watson, L. M., Heyes, J. A., & Eason, J. R. (2003). Identification of dehydration-responsive cysteine proteases during post-harvest senescence of broccoli florets. Journal of Experimental Botany, 54, 1045-1056.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erg105>

Cubillos, E., Molina, V., Flórez, V. J., & Fischer, G. (2001). Efecto de inhibidores de etileno en la longevidad floral del clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) como probables sustitutos del tiosulfato de plata (STS). Agronomía Colombiana, 18, 89-96.

Cuggino, S.G., Posada-Izquierdo, G., Villegas, I.B., Theumer, M.G., & Pérez-Rodríguez, F. (2023). Efectos de los tratamientos de lavado con cloro y ácido peroxiacético sobre la cinética de crecimiento de *Salmonella* en lechugas precortadas. Investigación Internacional de Alimentos, 167, 112451.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112451>

da Silva Borges, L., Lima, G. P.P., Artes, F., de Souza, M.E., de Souza Freitas, L., de Jesus, H.I., de Fatima Alves Santos, N., & da Silva Melo, M.R. (2019). Efficiency of DPPH and FRAP assays for estimating antioxidant activity and separation of organic acids and phenolic compounds by liquid chromatography in fresh-cut nectarine. *Au. J. of Crop Scie.* 13, 1053-1060. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.751808828676779>

Dagher, D., Ungar, K., Robison, R., & Dagher, F. (2017). The wide spectrum high biocidal potency of Bioxy formulation when dissolved in water at different concentrations. *Plos one*, 12(2), e0172224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172224>

Dakora, F.D., Matiru, V., & Kanu, A.S. (2015). Rhizosphere ecology of lumichrome and riboflavin, two bacterial signal molecules eliciting developmental changes in plants. *Front. Plant Sci.* 6, 700. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00700>

Dar, R.A., Tahir, I. & Ahmad, S.S. (2014). Los azúcares y los alcoholes de azúcar influyen en la regulación de la senescencia floral en *Dianthus chinensis* L. *Scientia Horticulturae* , 174, 24-28. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0104-9>

Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., & Sabzalian, M.R. (2014). Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369, 20130243. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>

Darré, M., Valerga, L., Ortiz Araque, L. C., Lemoine, M. L., Demkura, P. V., Vicente, A. R., Concellón, A. (2017). Role of UV-B irradiation dose and intensity on color retention and antioxidant elicitation in broccoli florets (*Brassica oleracea*

var. *italica*). *Postharvest Biology and Technology*, 128, 76-82.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.02.003>

Das, K., Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2, pp 53.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053>

De São José, J.F.B., de Andrade, N.J., Ramos, A.M., Vanetti, M.C.D., Stringheta, P.C., & Chaves, J.B.P. (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45, pp 36-50.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.015>

Del Pino, M. (2016). Guía didáctica: cultivo y manejo del pimiento. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Curso de Horticultura y Floricultura, pp 1-6. Disponible en:

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/41414/mod_resource/content/1/Gu%C3%ADa%20de%20Pimiento%202017%20\(1\).pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/41414/mod_resource/content/1/Gu%C3%ADa%20de%20Pimiento%202017%20(1).pdf)

Deng, B., Chen, L., Tian, S., Shi, H., & Zhao, X. (2022). Vitamin B1 delays postharvest senescence and enhances antioxidant accumulation by activating NADPH oxidase in *Ziziphus jujuba* fruit. *LWT*, 165, 113743.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113743>

Dhull, S.B., Malik, T., Kaur, R., Kumar, P., Kaushal, N. y Singh, A. (2021). Almidón de plátano: ilustración de propiedades y aplicaciones alimentarias: una revisión. *Starch-Stärke*, 73, 1-2, 2000085.

<https://doi.org/10.1002/star.202000085>

- Di Rienzo, J.A., Balzarini, M., Casanoves, F., González, L., Tablado, M., Guzmán, W. & Robledo, C.W. (2012). Software estadístico Infostat. Estadística y Biometría. <https://www.infostat.com.ar/>
- Diffey, B.L. (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*, 28, 4-13. [https://doi.org/10.1016/S1046-2023\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S1046-2023(02)00204-9)
- Doğan, A., Yılmaz, G., Erkan, M., & Baktır, I. (2012). Effects of sucrose and silver nitrate on the vase life of cut *Ranunculus asiaticus* L. In XI International Symposium on Flower Bulbs and Herbaceous Perennials 1002, 341-348. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1002.45>
- Dong, H., & Beer, S.V. (2000). Riboflavin induces disease resistance in plants by activating a novel signal transduction pathway. *Phytopathol.* 90, pp 801-811. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.8.801>
- Eason, J.R., Ryan, D.J., Watson, L.M., Pinkney, T., Hedderley, D., Christey, M.C., Braun, R.H., Coupe, S.A. (2007). Suppressing expression of a soluble acid invertase (BoINV2) in broccoli (*Brassica oleracea*) delays postharvest floret senescence and downregulates cysteine protease (BoCP5) transcription. *Physiol. Plantarum* 130, 46–57. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00892.x>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), Turck, D., Bresson, J.L., Burlingame, B., Dean, T., Fairweather-Tait, S., Heinonen, M., Hirsch-Ernst, K.I., Mangelsdorf, I., McArdle, H.J., Naska, A., Nowicka, G., Pentieva, K., Sanz, Y., Siani, A., Sjödin, A., Stern, M., Tomé, D., Van Loveren, H., Vinceti, M., Willits, P., Lamberg-Allardt, C., Przyrembel, H., Tetens, I., Dumas, C., Fabiani, L., Forss, A. C., Ioannidou, S., & Neuhäuser-Berthold, M. (2017).

Dietary Reference Values for riboflavin. EFSA J. 15, 8, e04919.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4919>

Elgimabi, M.N.E.E. (2014). Pulsing with sucrose and silver nitrate enhance water uptake and result in along vase life in taif rose cut flowers (*Rosa damascena*. CV. *Trigintipetala*). International Journal of Agriculture Sciences, 6, 379. e-ISSN: 0975-9107

Fallik, E., & Grinberg, S. (1992). Hinokitiol: a natural substance that controls postharvest diseases in eggplant and pepper fruits. Postharvest biology and technology, 2 137-144. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(92\)90016-I](https://doi.org/10.1016/0925-5214(92)90016-I)

Fallik, E., & Ilic', Z. (2019). Control of postharvest decay of fresh produce by heat treatments; the risks and the benefits. Postharvest pathology of fresh horticultural produce, 521-537. ISBN 978-131520918-0

Fallik, E., Aharoni, Y., Copel, A., Gil, M., Grinberg, S., & Klein, J. D. (1997). Sodium bicarbonate reduces postharvest decay development on melons. Postharvest Biology and Technology (Netherlands). ISSN: 0925-5214

Fallik, E., Aharoni, Y., Grinberg, S., Copel, A., & Klein, J. D. (1994). Postharvest hydrogen peroxide treatment inhibits decay in eggplant and sweet red pepper. Crop Protection, 13, 451-454. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(94\)90094-9](https://doi.org/10.1016/0261-2194(94)90094-9)

Fan, X.T. & Mattheis, J.P., (2000). Yellowing of broccoli in storage is reduced by 1 methylcyclopropene. Hortscience 35, 885–887.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.5.885>

Favre, N., Bárcena, A., Bahima, J.V., Martínez, G. & Costa, L. (2018). Pulses of low intensity light as promising technology to delay postharvest senescence of broccoli. Postharvest Biology and Technology, 142: 107-114.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.006>

Fernández Lozano, J., Liverotti, O., Sánchez, G. (1997). Manejo poscosecha de pimiento. Disponible en:

<file:///C:/Users/User/Downloads/MANEJO%20POSCOSECHA%20DE%20PIMIENTO.pdf>

Fernández, R., Fernández, H., & Benedetto, A.D. (1992). La actividad florícola en los alrededores de Buenos Aires. Boletín de divulgación técnica. EEA San Pedro, (8).

Ferrante, A., Hunter, D., Hackett, W. & Reid, M. (2001) TDZ: Una herramienta novedosa para prevenir el amarillamiento de las hojas en las flores de *Alstroemeria*. *HortScience* 36:599.

Ferrante, A., Cazador, D.A. Hackett, W.P & Reid, M.S. (2002). Thidiazuron: un potente inhibidor de la senescencia de las hojas en *Alstroemeria*. *Biología y tecnología poscosecha* 25, 333–338. [DOI:10.1016/S0925-5214\(01\)00195-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00195-8)

Ferraris, G., & Ferrero, G.E. (2018). Análisis de la estructura agraria en los sistemas hortícolas del AMBASUR (Área Metropolitana de Buenos Aires-Sur). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117, 231-244. Recuperado a partir de <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7340>

Folley, P., & Engel, N. (1999). Chlorophyll b to chlorophyll a conversion precedes chlorophyll degradation in *Hordeumvulgare* L. *J. Biol. Chem.* 274, pp 21811–21816. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.31.21811>

Fonseca, S.C., Oliveira, F.A., & Brecht, J.K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of food engineering*, 52, 99-119. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)

Fonseca, S.C., Oliveira, F.A., Brecht, J.K., & Chau, K.V. (2005). Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega kale quality for development

of modified atmosphere packages. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 279-292. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.08.007>

Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food quality and preference*, 6(3), pp 149-155. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00026-R](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00026-R)

Franco, D. (2012). *Conservas vegetales*. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Informe Sectorial N° 11. Disponible en: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/conservas/Informes/ConservasVegetales/Conservas_anuario_2012.pdf

Franco, D. (2013). *Hortalizas congeladas*. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y pesca. Disponible en: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/conservas/productos/HortalizasCongeladas_2013_08Ago.pdf

Fukasawa, A., Suzuki, Y., Terai, H. & Yamauchi, N. (2010). Effects of postharvest ethanol vapor treatment on activities and gene expression of chlorophyll catabolic enzymes in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology* 55, pp 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.08.010>

Galati, V.C., Marques, K.M., Muniz, A.C.C., Silva, J.P., Guimarães, J.E.R., Mattiuz, C.F.M. & Mattiuz, B.H. (2015). Uso de cloruro de calcio en el tratamiento poscosecha de flores cortadas de *Alstroemeria*. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 1104, 267-272. [DOI 10.17660/ActaHortic.2015.1104.41](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1104.41)

Galizio, R., & Diaz, K. (2020) *Technology of horticultural products: minimally processed vegetables (IV gama) Tecnología de los productos hortofrutícolas: hortalizas mínimamente procesadas (IV gama)*. ISSN de la edición on line 1851-9342

Galmarini, C. (2018). Desafíos y Oportunidades de la Horticultura en Argentina. In Resúmenes del 40° Congreso Argentino de Horticultura, Córdoba (Vol. 2, pp. 22).

Georget, E., Sevenich, R., Reineke, K., Mathys, A., Heinz, V., Callanan, M., & Knorr, D. (2015). Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27,1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.015>

Gil, M. I., Selma, M. V., López-Gálvez, F., & Allende, A. (2009). Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions. *Int. J. Food Microbiol.* 134, pp 37-45. [doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.021](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.021).

Giusti, M., & Wrolstad, R.E. (2005). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Handbook of food analytical chemistry*,19-31. [doi:10.1002/0471709085.ch18](https://doi.org/10.1002/0471709085.ch18)

Goites, E.D. 2008. Manual de cultivos para la Huerta orgánica familiar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la República Argentina. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_de_cultivos_para_la_Huerta_organica_familiar_-.pdf

Gomez-Lobato, M.E., Civello, P.M., & Martínez, G.A. (2012). Effects of ethylene, cytokinin and physical treatments on BoPaO gene expression of harvested broccoli. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, pp 151-158. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4555>

Gómez-Lobato, M.E., Hasperué, J.H., Civello, P.M., Chaves, A.R., & Martínez, G.A. (2012). Effect of 1-MCP on the expression of chlorophyll degrading genes during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Scientia Horticulturae*, 144, pp 208-211. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.017>

Gomila, T. & Calvo, G. (2014). Corazón acuoso en manzana. Área Poscosecha. EEA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Alto Valle. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_corazon-acuoso-en-manzanas_2014.pdf

Gonzales-Aguilar, G.A., Ayala-Zavala, J.F., de La Rosa, L.A., Ivarez-Parrilla, E.A. (2010). Preserving quality of fresh-cut product using safe technology. J. Verbrauch. Lebensm. 5, 65-72. <https://doi.org/10.1007/s00003-009-0315-6>

Griffin, M. (1995). Problemas para as tulipas. *Agroanálisis* 15, 12-14.

Groenbaek, M., Jensen, S., Neugart, S., Schreiner, M., Kidmose, U., & Kristensen, H.L. (2016). Nitrogen split dose fertilization, plant age and frost effects on phytochemical content and sensory properties of curly kale (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica*). Food Chemistry, 197, 530-538. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.108>

Guhr, A., Horn, M.A., & Weig, A.R. (2017). Vitamin B2 (riboflavin) increases drought tolerance of *Agaricus bisporus*. Mycologia, 109, 860-873, [DOI: 10.1080/00275514.2017.1414544](https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1414544)

Hasan, M., Bashir, T., Ghosh, R., Lee, S. K., & Bae, H. (2017). An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. Molecules, 22(9), 1420. <https://doi.org/10.3390/molecules22091420>

Hasperué, J.H., Guardianelli, L., Rodoni, L.M., Chaves, A.R. & Martínez, G.A. (2016). Continuous white-blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. LWT-Food Science and Technology, 65, 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.041>

Hasperué, J.H., Rodoni, L.M., Guardianelli, L.M., Chaves, A.R. & Martínez, G.A. (2016). Use of LED light for *Brussels* sprouts postharvest conservation. *Scientia Horticulturae*, 213, 281-286.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.004>

Hasperué, J. H., Chaves, A. R., & Martínez, G. A. (2011). End of day harvest delays postharvest senescence of broccoli florets. *Postharvest biology and technology*, 59, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.005>

Hayat, S., Amin, N. U., Khan, M. A., Soliman, T. M., Nan, M., Hayat, K., & Zhao, L. (2012). Impact of silver thiosulfate and sucrose solution on the vase life of rose cut flower cv. Cardinal. *Advances in Environmental Biology*, 1643-1650. ISSN 19981066.

Henao Riveros, S.C; Sierra Parada, C.R; Gaitán Alvarez, J.A. (2003). Bactericidal activity of hypochlorous acid (HClO) against five strains in nosocomial infection. *Rev. Fac. Med. (Bogotá)*; 51, 136-142.

Hernández, E., Aceituno-Medina, Marysol., Dohino, T., Caro-Corrales, José., & Hallman, G. (2020). 16. Tratamientos Fitosanitarios de Poscosecha.) *Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo*. S y G editores, Ciudad de México. pp. 301-331.

Hino, S., Sakamoto, A., Nagaoka, K., Anan, K., Wang, Y., Mimasu, S., Umehara, T., Yokoyama, S., Kosai, K., & Nakao, M. (2012). FAD-dependent lysine-specific demethylase-1 regulates cellular energy expenditure. *Nature Comm.* 3, 758.

<https://doi.org/10.1038/ncomms1755>

Ho, K.L.G., Luzuriaga, D.A., Rodde, K.M., Tang, S., & Phan, C. (2011). Efficacy of a novel sanitizer composed of lactic acid and peroxyacetic acid against single strains of nonpathogenic *Escherichia coli* K-12, *Listeria innocua*, and

Lactobacillus plantarum in aqueous solution and on surfaces of romaine lettuce and spinach. Journal of food protection, 74, 1468-1474.

<https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-110>

Ichimura, K., & Goto, R. (2002). Extension of vase life of cut *Narcissus tazetta* var. *chinensis* flowers by combined treatment with STS and gibberellin A3. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 71, 226-230.

<https://doi.org/10.2503/jjshs.71.226>

Idígoras, G. (2014). Producción y procesamiento de productos frutihortícolas. Documento de referencia. Ministerio de Ciencia tecnología e Innovación Productiva. Disponible en:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion_y_procesamiento_de_productos_frutihortícolas-doc.pdf

Ilić, Z.S. & Fallik, E. (2017). Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: a review. Environmental and Experimental Botany, 139,79–90. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>

Ilić, Z.S., Šunić, L., & Fallik, E. (2017). Quality evaluation and antioxidant activity of mini sweet pepper cultivars during storage in modified atmosphere packaging (MAP). Romanian Biotechnol. Lett. 22, 12214-12223.

Izumi, H., Watada, A.E., & Douglas, W. (1996). Optimum O₂ or CO₂ atmosphere for storing broccoli florets at various temperatures. J. Am. Soc. Hortic. Sci 121, 127-131. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.1.127>

Jaiswal, S.K., Mohammed, M., Ibny, F.Y., & Dakora, F.D. (2021). Rhizobia as a source of plant growth-promoting molecules: Potential applications and possible operational mechanisms. Front. Sust. Food Syst. 4, 311.

<https://doi.org/10.21273/JASHS.121.1.127>

Jakab, Z., Platon, I., & Festila, A. (2014). Study on starch iodine test for determining maturation stage at several apple cultivars in correlation with climatic factors at SCDP Bistrita using a one year model by means of image analysis in ImageJ. *Sci. Papers*, 58, 43-50. ISSN 2286-1580.

Jani, G., & Mankad, A. (2013). Changes in sugars during petal senescence in cut flowers of *Cosmos bipinnatus*. *Phytomorphology: An International Journal of Plant Morphology*, 63, 119-125.

Jeon, J., Kim, J.K., Kim, H., Kim, Y.J., Park, Y.J., Kim, S.J., Kim, C., & Park, S.U. (2018). Transcriptome analysis and metabolic profiling of green and red kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) seedlings. *Food Chemistry*, 241, 7-13.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.067>

Hyun, J.E., Moon, S.K., & Lee, S.Y. (2022). Application of blue light-emitting diode in combination with antimicrobials or photosensitizers to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut apples and cherry tomatoes. *Food Control*, 131, 108453.. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108453>.

Jiang, A., Zuo, J., Zheng, Q., Guo, L., Gao, L., Zhao, S., Wang, Q., & Hu, W. (2019). Red LED irradiation maintains the postharvest quality of broccoli by elevating antioxidant enzyme activity and reducing the expression of senescence-related genes. *Scientia Horticulturae*, 215, 73–79.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.016>

Jin, P., Yao, D., Xu, F., Wang, H. & Zheng, Y. (2015). Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. *Food Chemistry*, 172, 705-709 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.134>

Jones, M.A. (2018). Using light to improve commercial value. *Hortic. Res.* 5, 47.
<https://doi.org/10.1038/s41438-018-0049-7>

Jordi, W., Olla, C.S., Encorvado, G.M., & Schapendonk, A.H.C.M. (1994). Efecto de la luz y el ácido giberélico sobre la fotosíntesis durante la senescencia de las hojas de flores cortadas de *Alstroemeria*. *Fisiología Plantarum* 90, 293-298.

<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb00390.x>

Kader, A.A. (2007a). Cap. 14, Atmósferas modificadas en el transporte y el almacenamiento. En: Kader, A.A. (Ed). Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas, Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis, California, pp 157-168.

Kader, A.A. (2007b). Cap. 4, Biología y tecnología poscosecha: un panorama. En: Kader, A.A. (Ed). Tecnología Poscosecha de Cultivos Hortofrutícolas, Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis, California. pp 43-53.

Kaloo, G. (1993). Kale. Genetic Improvement of Vegetable Crops, 187-190.

[doi:10.1016/b978-0-08-040826-2.50015-1](https://doi.org/10.1016/b978-0-08-040826-2.50015-1)

Kami, C., Lorrain, S., Hornitschek, P., Fankhauser, C., & Timmermans, M.C.P. (2010). Current topics in developmental biology. *Curr Top Dev Biol*, 91, 9-66.

DOI: [10.1016/S0070-2153\(10\)91002-8](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(10)91002-8)

Kasim, M.U., & Kasim, R. (2017). While continuous white LED lighting increases chlorophyll content (SPAD), green LED light reduces the infection rate of lettuce during storage and shelf-life conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13266. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13266>

Kenefick, R.W., Heavens, K.R., Dennis, W.E., Caruso, E.M., Guerriere, K.I., Charkoudian, N., & Chevront, S.N. (2015). Quantification of chromatographic

effects of vitamin B supplementation in urine and implications for hydration assessment. J. App. Physiol. 119, 110–115.

<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00068.2015>

Ketsa, S., Thampitakorn, F., & Piluek, C. (1993). Effects of silver nitrate and silver thiosulfate on vase-life of cut roses. Agriculture and Natural Resources, 27 91-97. ISSN: 0075-5192.

Khan, N. & Abas, N. (2011) Comparative study of energy saving light sources. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 296-309.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.072>

Kim, D.K., Shin, M., Kim, H.S., & Kang, D.H. (2022). Inactivation efficacy of combination treatment of blue light-emitting diodes (LEDs) and riboflavin to control *E. coli* O157: H7 and *S. Typhimurium* in apple juice. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 78, 103014.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103014>

Kinoshita, T., Doi, M., Suetsugu, N., Kagawa, T., Wada, M., & Shimazaki, K.I. (2001). Phot1 and phot2 mediate blue light regulation of stomatal opening. Nature, 414, 656. <https://doi.org/10.1038/414656a>

Kishor, A., Kumar, Y., & Debnath, S. (2022). Chapter 11: Apple (*Malus domestica* L. borkh): it's physiological disorder and their management for better fruit production. ISBN: 978-93-91768-36-2

Kodali, V.K., & Thorpe, C. (2010). Oxidative protein folding and the quiescinsulfhydryl oxidase family of flavoproteins. Antiox. Redox Signal. 13, 1217-1230.

<https://doi.org/10.1089/ars.2010.3098>

Köstekli, M., Özdikicierlev, O., Cortés, C., Zulueta Albelda, A., Esteve Más, M. J., & Frígola Cánoves, A. (2016). Role of potassium permanganate ethylene on

physicochemical properties, during storage of five different tomato cultivars. *MOJ food processing & technology*, 2016, vol. 3, num. 2, p. 1-9.

<https://doi.org/10.15406/mojfpt.206.03.00069>

Krasensky, J., & Jonak, C. (2012). Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1593-1608. <https://doi.org/10.1093/jxb/err460>

Kunkel, D. Science photo library. Acceso (2019). Disponible en: <https://www.sciencephoto.com/media/801532/view>

Kusaba, M., Ito, H., Morita, R., Iida, S., Sato, Y., Fujimoto, M., Kawasaki, S., Tanaka, R., Hirochika, H., Nishimura, M., & Tanaka, A. (2007). Rice NON-YELLOW COLORING is involved in light-harvesting complex II and grana degradation during leaf senescence. *The Plant Cell*, 19(4), pp 1362-1375.

<https://doi.org/10.1105/tpc.106.042911>

Kwon, H.J., Lee, M.H., Kim, H.W., Yang, J.Y., Woo, H.J., Park, M., Moon, C., Kim, S., & Kim, J.B. (2020). Riboflavin inhibits growth of *Helicobacter pylori* by down-regulation of *polA* and *dnaB* Genes. *Biomed. Sci. Lett.* 26, pp 288-295.

<https://doi.org/10.15616/BSL.2020.26.4.288>

Laura, A., Moreno-Escamilla, J.O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. In *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 253-271). Woodhead Publishing.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>

Leggett, M.J., Schwarz, J.S., Burke, P.A., McDonnell, G., Denyer, S.P., & Maillard, J.Y. (2016). Mechanism of sporicidal activity for the synergistic combination of peracetic acid and hydrogen peroxide. *Applied and Environmental Microbiology*, 82, 1035-1039. <https://doi.org/10.1128/AEM.03010-15>

- Lemoine, M. L., Civello, P. M., Chaves, A. R., & Martínez, G. A. (2010). Influence of a combined hot air and UV-C treatment on quality parameters of fresh-cut broccoli florets at 0°C. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1212-1218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02269.x>
- Lemoine, M. L., Civello, P., Chaves, A., & Martínez, G. (2009). Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1076-1081. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.01.009>
- Lester, G. E., Makus, D. J., & Hodges, D. M. (2010). Relationship between fresh-packaged spinach leaves exposed to continuous light or dark and bioactive contents: effects of cultivar, leaf size, and storage duration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 2980-2987. <https://doi.org/10.1021/jf903596v>
- Li, L., Lv, F.Y., Guo, Y.Y., Wang, Z.Q., (2016). Respiratory pathway metabolism and energy metabolism associated with senescence in postharvest Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) florets in response to O₂ /CO₂ controlled atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 111, 330-336. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.032>
- Li, Y., Yin, Y., Bi, Y., & Wang, D. (2012). Effect of riboflavin on postharvest disease of Asia pear and the possible mechanisms involved. *Phytoparas.* 40, 261-268. <https://doi.org/10.1007/s12600-011-0216-y>
- Li, Y., Zheng, Y., Liu, H., Zhang, Y., Hao, Y., Song, S., & Lei, B. (2019). Effect of supplemental blue light intensity on the growth and quality of Chinese kale. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60, 49-57. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0104-1>

- Lichtenthaler, H.K. (2007). Biosynthesis, accumulation and emission of carotenoids, α tocopherol, plastoquinone, and isoprene in leaves under high photosynthetic irradiance. *Photosynthesis Res.* 92, 163–179. <https://doi.org/10.1007/s11120-007-9204-y>
- Liebsch, D., & Keech, O. (2016). Dark-induced leaf senescence: new insights into a complex light-dependent regulatory pathway. *New Phytologist*, 212, 563-570. <https://doi.org/10.1111/nph.14217>
- Lienhart, W.D., Gudipati, V., & MacHeroux, P. (2013). The human flavoproteome. *Arch. Biochem. Biophys.* 535, 150-162.
- Lindbloom, B.J. (2016). Delta E (CIE 2000). Obtenido de: Brucelindbloom.com.
- Liu, J.D., Goodspeed, D., Sheng, Z., Li, B., Yang, Y., Kliebenstein, D.J. & Braam, J. (2015). Keeping the rhythm: light/dark cycles during postharvest storage preserve the tissue integrity and nutritional content of leafy plants. *BMC Plant Biology*, 15, 92. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0474-9>
- Liyama, K., Bach-Tuyet Lam, T., & Stone, B.A. (1994). Covalent cross-links in the cell wall. *Plant Physiol.* 104, 315-320. DOI: <https://doi.org/10.1104%2Fpp.104.2.315>
- Loebnitz, N., Schuitema, G., & Grunert, K.G. (2015). Who buys oddly shaped food and why? Impacts of food shape abnormality and organic labeling on purchase intentions. *Psychology & Marketing*, 32, 408-421. <https://doi.org/10.1002/mar.20788>
- Loi, M., Liuzzi, V. C., Fanelli, F., De Leonardis, S., Maria Creanza, T., Ancona, N., & Mulè, G. (2019). Effect of different light-emitting diode (LED) irradiation on the shelf life and phytonutrient content of broccoli (*Brassica oleracea* L. var.

italica). Food Chemistry, 283, 206-214.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.021>

Lu, Y., Gehan, J. P., & Sharkey, T. D. (2005). Daylength and circadian effects on starch degradation and maltose metabolism. *Plant Physiology*, 138, 2280-2291.

<https://doi.org/10.1104/pp.105.061903>

Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519>

Ma, G., Zhang, L., Setiawan, C.K., Yamawaki, K., Asai, T., Nishikawa, F., Maezawac, S., Satod, H., Kanemitsue, N., Katoa, M., & Kato, M., (2014). Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. *Postharvest Biol. Technol.* 94, 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.010>

Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Sci. & Technol.* 64, 23-38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.005>

Ma, Y., Zhao, M., Wu, H., Yuan, C., Li, H., & Zhang, Y. (2021). Effects of fruit bagging on anthocyanin accumulation and related gene expression in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 146, 217-223. <https://doi.org/10.21273/JASHS05019-20>

Madrid, R., Boronat, M., Collados, I., & Egea, C. (1999). Evolución del color del fruto en variedades de pimiento pimentonero: Influencia de la deficiencia en potasio. *ITEA. Producción vegetal*, 95, 125-135.

Magwaza, L.S., Opara, U.L., Cronje, P.J.R., Landahl, S., & Terry, L.A. (2013). Canopy position affects rind biochemical profile of '*Nules Clementine*' mandarin

fruit during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 86, 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.029>

Mahanti, N.K., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Chakraborty, S.K., Kumar, M., & Cozzolino, D. (2022). Emerging non-destructive imaging techniques for fruit damage detection: Image processing and analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 418-438. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.021>

Mahmood, M. H., Sultan, M., & Miyazaki, T. (2019). Significance of temperature and humidity control for agricultural products storage: overview of conventional and advanced options. *International Journal of Food Engineering*, 15 (10).<https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0063>

Martínez-Hernández, G.B., Artés-Hernández, F., Gómez, P.A., Formica, A.C., Artés, F., (2013). Combination of electrolysed water, UV-C and superatmospheric O₂ packaging for improving fresh-cut broccoli quality. *Postharvest Biol. Technol.* 76, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.013>

Martínez-Sánchez, A., Tudela, J.A., Luna, C., Allende, A., Gil, M.I. (2011). Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 59, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.07.005>

Mastropasqua, L., Tanzarella, P. & Paciolla, C. (2016). Effects of postharvest light spectra on quality and health-related parameters in green *Asparagus officinalis* L. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.10.010>

Matiacevich, S., Riquelme, N., & Arancibia, C. (2016). Perspectivas de las tecnologías aplicadas en productos IV-Gama. *Contribuciones científicas y tecnológicas - vol. 41 pp 48*. Chile. ISSN 0719-8388.

McCree, K.J. (1972). The action spectrum, absorbance, and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology* 9, 191-216.

[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)

Miller, F.A., Brandão, T.R., & Silva, C.L. (2014). Ozone processing. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*, 617-644.

<https://doi.org/10.1002/9781118406281.ch25>

Morales-de La Peña, M., Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2011). Food preservation by pulsed electric fields: an engineering perspective. *Food Engineering Reviews*, 3, 94-107.

<https://doi.org/10.1007/s12393-011-9035-7>

Moreira, M.D.R., Roura, S.I., Ponce, A. (2011). Effectiveness of chitosan edible coatings to improve microbiological and sensory quality of fresh cut broccoli. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 2335-2341.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.009>

Mosegaard, S., Dipace, G., Bross, P., Carlsen, J., Gregersen, N., & Jentoft Olsen J.K. (2020). Riboflavin deficiency-Implications for general human health and inborn errors of metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 21, 3847.

[doi:10.3390/ijms21113847](https://doi.org/10.3390/ijms21113847)

Muthukkannan, N., & Kalidas, K. 2019. Minimally processed fresh cutvegetables for healthy consumption. *Adv. Res. J. Crop Improv*, 10, 9-14.

<https://doi.org/10.15740/HAS/ARJCI/10.1/9-14>.

Mutui, T.M., Emongor, V.N. & Hutchinson, M.J. (2003). Efecto de la benciladenina sobre la vida en florero y la calidad de conservación de las flores cortadas de *Alstroemeria*. *Revista de Ciencia y Tecnología Agrícolas* 5: pp 91–

105. <https://doi.org/10.4314/jagst.v5i1.31664>

Nath, A., Bagchi, B., Misra, L. K., & Deka, B. C. (2011). Changes in post-harvest phytochemical qualities of broccoli florets during ambient and refrigerated

storage. Food Chemistry, 127, 1510-1514.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.007>

Nelson, J. A., & Bugbee, B. (2014). Economic analysis of greenhouse lighting: light emitting diodes vs. high intensity discharge fixtures. PloS one, 9(6), e99010

Nie, S., & Xu, H. (2016). Riboflavin-induced disease resistance requires the mitogen-activated protein kinases 3 and 6 in *Arabidopsis thaliana* Plos One.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153175>

Njus, D., Kelley, P. M., Tu, Y. J., & Schlegel, H. B. (2020). Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties. Free Radical Biol. Med. 159, 37-

43. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.07.013>

Noichinda, S., Bodhipadma, K., Mahamontri, C., Narongruk, T., & Ketsa, S. (2007). Light during storage prevents loss of ascorbic acid and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*).

Postharvest Biology and Technology, 44, 312-315.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.006>

Oh, M.M., Carey, E.E., & Rajashekar, C.B. (2009). Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. Plant Physiology and Biochemistry, 47, 578-583. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.008>

Okamoto, H., Ducreux, L.J.M., Allwood, J.W., Hedley, P.E., Wright, A., Gururajan, V., Terry, M.J. & Taylor, M.A. (2020) Light Regulation of Chlorophyll and Glycoalkaloid Biosynthesis During Tuber Greening of Potato *S. tuberosum*. Front.

Plant Sci. 11, 753. [doi: 10.3389/fpls.2020.00753](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00753)

Olarte, C., Sanz, S., Echávarri, J. F., & Ayala, F. (2009). Effect of plastic permeability and exposure to light during storage on the quality of minimally

processed broccoli and cauliflower. LWT-Food Science and Technology, 42, 402-411. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.001>

Pandey, A., Misra, P., Bhambhani, S., Bhatia, C., & Trivedi, P.K. (2014). Expression of *Arabidopsis* MYB transcription factor, AtMYB111, in tobacco requires light to modulate flavonol content. Scientific Reports, 4, 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep05018>

Paradiso, R., & Proietti, S. (2022). Manipulación de la calidad de la luz para controlar el crecimiento de las plantas y la fotomorfogénesis en la horticultura de invernadero: el estado del arte y las oportunidades de los sistemas LED modernos. J Plant Growth Regul 41, 742-780. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>

Pennisi, G., Orsini, F., Castillejo, N., Gómez, P.A., Crepaldi, A., Fernández, J.A., Egea-Gilabert, C., Artés-Hernández, F. & Gianquinto, G. (2021). Spectral composition from led lighting during storage affects nutraceuticals and safety attributes of fresh-cut red chard (*Beta vulgaris*) and rocket (*Diplotaxis tenuifolia*) leaves. Postharvest Biology and Technology, 175, 111500. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111500>

Perini, M.A., Sin, I.N., Jara, A.M.R., Lobato, M.E.G., Civello, P.M., Martínez, G.A. (2017). Hot water treatments performed in the base of the broccoli stem reduce postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*) heads stored at 20 °C. LWT-Food Science and Technology, 77, 314-322. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.066>

Perito, M.A., Chiodo, E., Serio, A., Paparella, A., & Fantini, A. (2020). Factors influencing consumers' attitude towards biopreservatives. Sustainability 12, 10338. <https://doi.org/10.3390/su122410338>

Pintos, F.M., Hasperué, J.H., Vicente, A.R. & Rodoni, L.M. (2020). Role of white light intensity and photoperiod during retail in broccoli shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111121. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111121>

Prasad, P., & Kochhar, A. (2014). Active packaging in food industry: a review. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8, 1-7. e-ISSN: 2319-2402.

Price, R.K., & Welch, R.W. (2013). Cereal and grains. In: Caballero, B. (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition*, Third edition, Academic Press, 307-316. e-ISBN 9780123848857

Qian, H., Liu, T., Deng, M., Miao, H., Cai, C., Shen, W., and Wang, Q. (2016). Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. *Food Chemistry*, 196, 1232-1238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.055>

Rabiza-Świder, J., Skutnik, E., Jędrzejuk, A. y Rochala-Wojciechowska, J. (2020). Nanosilver and sucrose delay the senescence of cut snapdragon flowers. *Biología y tecnología poscosecha*, 165, 111165. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111165>

Rai, A., Kumari, K., & Vashistha, P. (2022). Umbrella review on chilling injuries: Post-harvest issue, cause, and treatment in tomato. *Scientia Horticulturae*, 293, 110710. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110710>

Raigond, P., Atkinson, FS, Lal, MK, Thakur, N., Singh, B., Mishra, T. (2020). Hidratos de carbono de la patata. En: Raigond, P., Singh, B., Dutt, S., Chakrabarti, SK (eds) *Potato*. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_2

- Ramos, B., Miller, F.A., Brandao, T.R.S., Teixeira, P. y Silva, C.L.M. (2013). Fresh fruits and vegetables: An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002>
- Reda, T., Thavarajah, P., Polomski, R., Bridges, W., Shipe, E., & Thavarajah, D. (2021). Reaching the highest shelf: A review of organic production, nutritional quality, and shelf life of kale (*Brassica oleracea* var. *Acephala*). *Plants, People, Planet*, 3, 308-318. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10183>
- Rico, D., & Martín-Diana, A.B. (2007). Barat, J.M., Barry-Ryan, A.C. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review, 18, 373-386.
- Rivero, M.L., Quiroga Martin, M.I., Gonzalez Erbin, O.A., & Moraga, L.M. (2013). Durazno y nectarino. Defectos de calidad en frutas frescas, (3). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ficha_n_3_durazno_y_nectarino.pdf
- Rodoni, L.M., Hasperué, J.H., Ortiz, C.M., Lemoine, M.L., Concellón, A., & Vicente, A.R. (2016). Combined use of mild heat treatment and refrigeration to extend the postharvest life of organic pepper sticks, as affected by fruit maturity stage. *Postharvest biology and technology*, 117, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.016>
- Rodoni, L., Casadei, N., Concellón, A., Chaves Alicia, A.R., Vicente, A.R. (2010). Effect of short-term ozone treatments on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality and cell wall degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 594-599. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9029145>

- Rodoni, L., Vicente, A.R., Azevedo, S., Concellon, A., & Cunha, L.M. (2015). Quality retention of fresh-cut pepper as affected by atmosphere gas composition and ripening stage. *LWT-Food Sci. Technol.* 60, pp 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.023>
- Rodrigues, C., Gaspar, P. D., Simões, M. P., Silva, P. D., & Andrade, L. P. (2022). Review on techniques and treatments toward the mitigation of the chilling injury of peaches. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e14358. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14358>
- Romanazzi, G., Sanzani, S. M., Bi, Y., Tian, S., Martínez, P. G., & Alkan, N. (2016). Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.003>
- Rybarczyk-Plonska, A., Hansen, M.K., Wold, A.B., Hagen, S.F., Borge, G.I.A., Bengtsson, G.B. (2014). Vitamin C in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) flower buds as affected by postharvest light, UV-B irradiation and temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.06.017>
- Saavedra, R., Gabriel del, Jana A., Constanza & Kehr M., Elizabeth (eds.) (2019) *Hortalizas para Procesamiento Agroindustrial* [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 411. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29326>
- Šamec, D., Urlič, B., & Salopek-Sondi B. (2019). Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 2411-2422. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1454400>

- Sánchez-Moreno, C., González-Peña, D., Colina-Coca, C., & Ancos, B.D. (2018). Métodos físicos no tradicionales de control microbiológico aplicables al proceso de elaboración de hortalizas de IV Gama. *Agrociencia (Uruguay)*, 22, 26-36. <https://doi.org/10.31285/agro.22.1.3>
- Sanso, A.M. (1996). El género *Alstroemeria* en Argentina. *Darwiniana*. 34,349-382. ISSN 0011-6793
- Sanz, S., Olarte, C., Ayala, F., & Echávarri, J.F. (2009). Evolution of quality characteristics of minimally processed asparagus during storage in different lighting conditions. *Journal of food science*, 74, 296-302. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01239.x>
- Sanz, S., Olarte, C., Echávarri, J.F., & Ayala, F., (2007). Influence of exposure to light on the sensorial quality of minimally processed cauliflower. *J. Food Sci.* 72, S012–S018. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00228.x>
- Sardella, D., Gatt, R., & Valdramidis, V.P. (2018). Modelling the growth of pear postharvest fungal isolates at different temperatures. *Food microbiology*, 76, pp 450-456. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.07.010>
- Sedaghatthoor, S., Narouei, Z., Sajjadi, S. A., & Piri, S. (2020). The effect of chemical treatments (silver thiosulfate and putrescine) on vase life and quality of cut *Chrysanthemum morifolium* (Ram.) flowers. *Cogent Biology*, 6, 1754320. <https://doi.org/10.1080/23312025.2020.1754320>
- Serek, M., Woltering, E. J., Sisler, E. C., Frello, S., & Sriskandarajah, S. (2006). Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology advances*, 24, 368-381. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.007>
- Serer, M.I., Carrica, M.D.C., Trappe, J., López Romero, S., Bonomi, H. R., Klinke, S., Cerutti, M.L., & Goldbaum, F.A. (2019). A high-throughput screening for

inhibitors of riboflavin synthase identifies novel antimicrobial compounds to treat brucellosis. *The FEBS J.*, 286, 2522-2535. <https://doi.org/10.1111/febs.14829>

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2018). <http://www.senasa.gob.ar/cadena-vegetal/hortalizas>.

Sevillano, L., Sanchez-Ballesta, M. T., Romojaro, F., & Flores, F. B. (2009). Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 555-573. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3468>

Sharma, P., & Dubey, R.S. (2004). Ascorbate peroxidase from rice seedlings: properties of enzyme isoforms, effects of stresses and protective roles of osmolytes. *Plant Sci.* 167, 541-550. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.04.028>

Shezi, S., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2020). Changes in biochemistry of fresh produce in response to ozone postharvest treatment. *Scientia Horticulturae*, 269, 109397. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109397>

Silveira, A. C., Aguayo, E., & Artés, F. (2010). Emerging sanitizers and Clean Room packaging for improving the microbial quality of fresh-cut 'Galia'melon. *Food Control*, 21, 863-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.11.017>

Singh, S. (2011). Preservation technologies for fresh fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, 7, 1-7. [Doi: 10.2212/spr.2011.1.5](https://doi.org/10.2212/spr.2011.1.5)

Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-

Cioalciu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.

[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

Sipos, L., Boros, I. F., Csambalik, L., Székely, G., Jung, A., & Balázs, L. (2020).

Horticultural lighting system optimization: A review. *Scientia Horticulturae*, 273,

109631. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109631>

Sun, B., Yan, H., Liu, N., Wei, J., & Wang, Q. (2012). Effect of 1-MCP treatment

on postharvest quality characters, antioxidants and glucosinolates of Chinese

kale. *Food Chemistry*, 131, 519-526.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.016>

Surjadinata, B.B., Jacobo-Velázquez, D.A., & Cisneros-Zevallos, L. (2017). UVA,

UVB and UVC light enhances the biosynthesis of phenolic antioxidants in fresh-

cut carrot through a synergistic effect with wounding. *Molecules*, 22, 668.

<https://doi.org/10.3390/molecules22040668>

Suwannasom, N., Kao, I., Pruß, A., Georgieva, R., & Baumler, H. (2020).

Riboflavin: the health benefits of a forgotten natural vitamin. *Int. J. Mol. Sci.* 21,

950. <https://doi.org/10.3390/ijms21030950>

Taheri, P., & Tarighi, S. (2010). Riboflavin induces resistance in rice against

Rhizoctonia solani via jasmonate-mediated priming of phenylpropanoid pathway.

J. Plant Physiol. 167, 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.08.003>

Taheri, P., & Tarighi, S. (2011). A survey on basal resistance and riboflavin-

induced defense responses of sugar beet against *Rhizoctonia solani*. *J. Plant*

Physiol. 168, 1114-1122. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.01.001>

Tan, X.L., Fan, Z.Q., Zeng, Z.X., Shan, W., Kuang, J.F., Lu, W.J., Su, X.G., Tao,

N.G., Lakshmanan, P., Chen, J.Y., & Zhao, Y.T. (2021). Exogenous melatonin

maintains leaf quality of postharvest Chinese flowering cabbage by modulating

respiratory metabolism and energy status. *Postharvest Biology and Technology*, 177, 111524. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111524>

Thalman, M., & Santelia, D. (2017). Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. *New Phytologist*, 214(3), pp 943-951. <https://doi.org/10.1111/nph.14491>

Toledo, M. E. A., Ueda, Y., Imahori, Y., & Ayaki, M. (2003). L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 47-57. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00121-7)

Tracewell, C.A., Vrettos, J.S., Bautista, J.A., Frank, H.A., & Brudvig, G.W. (2001). Carotenoid photooxidation in photosystem II. *Arch. Biochem. Biophys.* 385, 61-69. <https://doi.org/10.1006/abbi.2000.2150>

Tzortzakis, N.G. (2009). Impact of cinnamon oil-enrichment on microbial spoilage of fresh produce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10, 97-102.

Tzortzakis, N., Alkan, N., Ziv, C., & Korsten, L. (2019). Solanaceae and Cucurbitaceae crops. In *Postharvest Pathology of Fresh Horticultural Produce*, 303-338. CRC Press. E-Book ISBN 9781315209180.

U.S Department of Agriculture, FoodData Central. Acceso en 2022: <https://fdc.nal.usda.gov/>.

U.S. Food and Drugs (2012). Chapter i-Food and Drug Administration. Department of Health and Human Services. Chemicals used in washing or to assist in the peeling of fruits and vegetables, code of federal regulations 21, part 173, Section 173.325; 144 Disponible en <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2012-title21-vol3/pdf/CFR-2012-title21-vol3.pdf>

U.S. Food and Drugs (2012). Chapter i-Food and Drug Administration. Department of Health and Human Services. Chemicals used in washing or to assist in the peeling of fruits and vegetables, code of federal regulations 21, part 173, Section 173.315. 21 CFR 173.315; 143 Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=173.315>

Uarota, V.G., Maraschin, M., de Bairros, A.D.F.M., & Pedreschi, R. (2021). Factors affecting the capsaicinoid profile of hot peppers and biological activity of their non-pungent analogs (Capsinoids) present in sweet peppers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61, 649-665. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1743642>

Uemura, R., Miura, J., & Ishi, T. (2019). UVA-activated ribofavin promotes collagen crosslinking to prevent root caries. *Sci. Reports*. 9, 1252. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38137-7>

Ukuku, DO, Bari, L. & Kawamoto, S. (2012). Peróxido de hidrógeno. Descontaminación de productos frescos y mínimamente procesados, 197-214. <https://doi.org/10.1002/9781118229187.ch11>

Vagelas, I., Papachatzis, A., Kalorizou, H., & Wogiatzi, E. (2009). Biological control of Botrytis fruit rot (gray mold) on strawberry and red pepper fruits by olive oil mill wastewater. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23, 1489-1491. <https://doi.org/10.2478/V10133-009-0017-3>

Valencia-Chamorro, S.A., Palou, L., Del Río, M.A., & Pérez-Gago, M.B. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51, 872-900. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.485705>

- Van der Meulen-Muisers, J.J., van Oeveren, J.C., van der Plas, L.H. & van Tuyl, J.M. (2001). Desarrollo floral poscosecha en lirios híbridos asiáticos en relación con el estado de carbohidratos de los tépalos. *Biología y tecnología poscosecha*, 21, 201-211. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00148-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00148-4)
- Van Doorn, W.G. (2004). ¿La senescencia de los pétalos se debe a la falta de azúcar? *Fisiología vegetal*, 134, 35-42. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh264>
- Velderrain-Rodríguez, G.R., López-Gámez, G.M., Domínguez-Avila, J.A., González-Aguilar, G.A., Soliva-Fortuny, R., & Ayala-Zavala, J.F. (2019). Postharvest technology of perishable horticultural commodities. Chapter 10- Minimal Processing Ed. Woodhead Publ. pp 353-374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00010-9>
- Wang, B., Jin, X., & Chen, X.D. (2017). Investigation on the relationship between the integrity of food matrix and nutrient extraction yield of broccoli. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 170-174. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.062>
- Westenhiser, T (2020). Kale. Disponible en: <https://fsi.colostate.edu/kale-and-collard-greens/#consumption-> Visitado en diciembre 2021.
- Wills, R.B.H., & Warton, M.A. (2004). Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *Journal of the american society for horticultural science*, 129, 433-438. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0433>
- Winkler, S., Faragher, J., Franz, P., Imsic, M., & Jones, R. (2007). Glucoraphanin and flavonoid levels remain stable during simulated transport and marketing of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.08.001>

- Wulfkuehler, S., Gras, C., & Carle, R. (2014). Influence of light exposure during storage on the content of sesquiterpene lactones and photosynthetic pigments in witloof chicory (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum* Hegi). *LWT-Food Science and Technology*, 58, 417-426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.017>
- Xiao, S., Dai, L., Liu, F., Wang, Z., Peng, W., & Xie, D. (2004). COS1: An Arabidopsis coronatine insensitive1 suppressor essential for regulation of jasmonate-mediated plant defense and senescence. *Plant Cell*. 16, 1132-1142. <https://doi.org/10.1105/tpc.020370>
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Xie, Z. K., Yu, L. L., Wang, Q. (2014). Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food chemistry*, 151, 472-479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.086>
- Yahia, E.M., & Carrillo-Lopez, A. (Eds.). (2018). *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*. Woodhead Publishing. ISBN: 9780128132791
- Yang, Q., Zhou, Q., Zhou, X., Fang, H., Zhao, Y., Wei, B., & Ji, S. (2022). Insights into profiling of glucosinolates and genes involved in its metabolic pathway accompanying post-harvest yellowing of broccoli. *Postharvest Biology and Technology*, 185, 111780. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111780>
- Yin, Y., Bi, Y., Li, Y., Wang, Y., & Wang, D. (2012). Use of thiamine for controlling *Alternaria alternata* postharvest rot in Asian pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd. cv. *Zaosu*). *International journal of food science & technology*, 47, 2190-2197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03088.x>
- Young, A.J., & Lowe, G.L. (2018). Carotenoids-antioxidant properties. *Antioxidants*, 7, 28. <https://doi.org/10.3390/antiox7020028>

- Zamora, E. (2016). El cultivo del brócoli. División de Ciencias Biológicas y de la Salud–Departamento de Agricultura y Ganadería–Hermosillo, Sonora México. 8p. Disponible en: <https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>
- Zencirkiran, M., & Mengüç, A. (2003) Almacenamiento en frío de *Alstroemeria pelegrina* ' Ostará'. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 31, 255-259. <https://doi.org/10.1080/01140671.2003.9514259>
- Zhan, L., Hu, J., Li, Y., & Pang, L. (2012). Combination of light exposure and low temperature in preserving quality and extending shelf-life of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 72, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.05.001>
- Zhan, L., Hu, J., Pang, L., Li, Y., Shao, J. (2014a). Effects of light exposure on chlorophyll, sugars and vitamin C content of fresh-cut celery (*Apium graveolens* var. dulce) petioles. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, [347-353](https://doi.org/10.1111/ijfs.12292). <https://doi.org/10.1111/ijfs.12292>
- Zhan, L., Hu, J., Pang, L., Li, Y., & Shao, J. (2014b). Light exposure reduced browning enzyme activity and accumulated total phenols in cauliflower heads during cool storage. *Postharvest biology and technology*, 88, 17-20. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.006>
- Zhang, H., & Zhou, C. (2013). Signal transduction in leaf senescence. *Plant molecular biology*, 82, 539-545. <https://doi.org/10.1007/s11103-012-9980-4>
- Zhang, J., Zhang, Y., Song, S., Su, W., Hao, Y., & Liu, H. (2020). Supplementary red light results in the earlier ripening of tomato fruit depending on ethylene production. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 104044. <https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2022.884720>

Zhang, S. J., Yang, X., Sun, M. W., Sun, F., Deng, S., & Dong, H. S. (2009). Riboflavin-induced priming for pathogen defense in *Arabidopsis thaliana*. *J. Integr. Plant Biol.* 51, 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00763.x>

Zhang, Y., & Xie, J. (2021). The effect of red and violet light-emitting diode (LED) treatments on the postharvest quality and biodiversity of fresh-cut pakchoi (*Brassica rapa* L. *Chinensis*). *Food Science and Technology International*, <https://doi.org/10.1177%2F10820132211018892>

Zoffoli, J.P. (2013). Antecedentes para optimizar el manejo de poscosecha de arándanos. Disponible en:

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/33431/NR39617.pdf?sequence=1&isAllowed=y>