



CYTAL-ALACCTA 2019
Buenos Aires, 20 – 22 noviembre 2019

LA EXPOSICIÓN FRACCIONADA A LA LUZ BLANCA RETRASA LA SENESCENCIA Y CONSERVA LOS NUTRIENTES DEL BRÓCOLI EN REFRIGERACIÓN

Federico M Pintos^b, Joaquín H Hasperué^a, Laura M Lemoine^a, Pablo Ixtaina^c,
Ariel R Vicente^a, Luis M Rodoni^a

^a LIPA: Laboratorio de Investigación en Productos Agroindustriales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Calle 60 y 119, La Plata CP 1900. Argentina.

^b CIDCA: Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos. CONICET-UNLP. Calle 47 y 116 La Plata CP 1900 Argentina.

^c LAL: Laboratorio de Acústica y Luminotecnia. Con centenario e/505 y 508. MB Gonnet. BsAs. Argentina.

E-mail: federicomartinpintos@gmail.com

Resumen:

La aplicación de luz en poscosecha es una tecnología no química que ha sido efectiva para retrasar el deterioro en algunos vegetales verdes. La exposición fraccionada a la luz puede otorgar incluso mayores beneficios que el almacenamiento en continua oscuridad o iluminación. El efecto de los tratamientos fraccionados con luz ha sido poco estudiado en vegetales refrigerados. En el caso del brócoli, estos tratamientos han retrasado la senescencia a temperatura ambiente. Resulta interesante evaluar si los tratamientos con luz pueden mejorar la calidad del brócoli en refrigeración, para utilizarlos como un complemento al correcto manejo de la temperatura. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la exposición a la luz blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$, 3 h diarias, sobre la vida poscosecha y el contenido de nutrientes de cabezas de brócoli conservadas a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ y 93 % HR por 13 y 22 d. Un grupo de brócolis se almacenaron 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, el tratamiento con luz retrasó el incremento del °Hue y evito cambios en la luminosidad. La luz no incrementó la pérdida de peso, que fue 3 y 5,5 % luego de 13 y 22 d respectivamente sin diferencias entre los tratamientos. La tasa respiratoria no se afectó por la aplicación de luz. Luego de 13 d, los brócolis iluminados tuvieron un 25 % más de azúcares totales que los almacenados en oscuridad. A los 13 y 22 d, los brócolis iluminados tuvieron un 40 y 70 % mayor contenido de ác. ascórbico, respectivamente, en relación a los conservados en oscuridad. El nivel de antioxidantes fue más alto en los brócolis iluminados que en el control durante todo el almacenamiento.

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 y mantener mayores niveles de nutrientes durante el almacenamiento refrigerado.



Palabras clave: *Calidad, radiación, clorofila, antioxidantes, almacenamiento*

1. Introducción

El brócoli 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). Debido a su elevada tasa metabólica, su potencial de almacenamiento es de solo 3-4 días a temperatura ambiente (Ma et al., 2014). 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). Se han evaluado varias metodologías para prolongar la vida útil del brócoli (Lemoine et al., 2009 y 2010; Moreira et al., 2011; Li et al., 2016). Estas tecnologías otorgan beneficios en el almacenamiento del brócoli, pero poseen dificultades de practicidad y relación costo beneficio que probablemente han llegado a ser un impedimento para su aplicación. 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).

La luz puede retrasar la senescencia de vegetales durante la poscosecha (Liu et al., 2015). La exposición continua a la luz durante el almacenamiento a temperatura ambiente ha retrasado la senescencia de vegetales verdes tales como brócoli (Büchert et al., 2011; Ma et al., 2014) y repollitos de Bruselas (Hasperué et al., 2016b). La exposición fraccionada a la luz incluso puede tener mayores beneficios en comparación a la continua oscuridad o continua iluminación (Liu et al., 2015; Jin et al., 2015; Favre et al., 2018). En el análisis del efecto de la luz como un complemento a la refrigeración se han encontrado resultados variables, desde buenas respuestas como es el caso lechuga procesada (Charles et al., 2018) hasta efectos nulos (Olarte et al., 2009) o inclusive deletéreos en otros vegetales (Sanz et al., 2009; Xiao et al., 2014). Los tratamientos que han evaluado el efecto combinado de la luz y la refrigeración en brócoli lo han hecho iluminando en forma continua. Los tratamientos que involucren períodos cortos de iluminación resultan interesantes desde el punto de vista del ahorro energético. Además, esta estrategia podría evitar la mayor pérdida de peso observada durante los tratamientos con iluminación continua (Hasperué et al., 2016a; Loi et al.,

2019). El objetivo del presente trabajo fue evaluar si tratamientos relativamente cortos (3 h d^{-1}) de exposición a la luz LED blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ resultan efectivos para mantener la vida poscosecha y el contenido de nutrientes en cabezas de brócoli almacenado a 5 °C y 93 \% HR .

2. Materiales y Métodos

2.1. Material vegetal y tratamientos

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica* cv. *Legacy*) se recolectó en estado de desarrollo comercial en un establecimiento hortícola en ciudad de La Plata ($34^{\circ}59'39.1''$ S; $58^{\circ}00'09.3''$ W), Argentina, y se transportó inmediatamente al laboratorio. Los vegetales con defectos fueron descartados y los seleccionados se lavaron con hipoclorito de sodio (150 mg L^{-1} , pH 6.5) por 5 min. Para evaluar el efecto de la luz sobre las cabezas de brócoli, las mismas se colocaron en vasos de poliestireno expandido, se envolvieron con PVC perforado y se almacenaron a 5 °C y 93 \%HR . El dispositivo de iluminación utilizado fue una placa de 15 W compuesta de 33 bulbos LED (Triano, modelo: 10L069ISU7267, Iluminación Sudamericana) (**Figura 1 A**). Un grupo de brócolis fue expuesto a 3 h diarias de luz LED blanca fría de $9,5 \text{ W m}^{-2}$. El tratamiento de iluminación consistió en una única etapa de iluminación seguida de un período de oscuridad cada día (**Figura 1 B**). 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 d de almacenamiento. Las muestras se analizaron inmediatamente o se congelaron en N_2 líquido y almacenaron a -80 °C hasta su utilización.

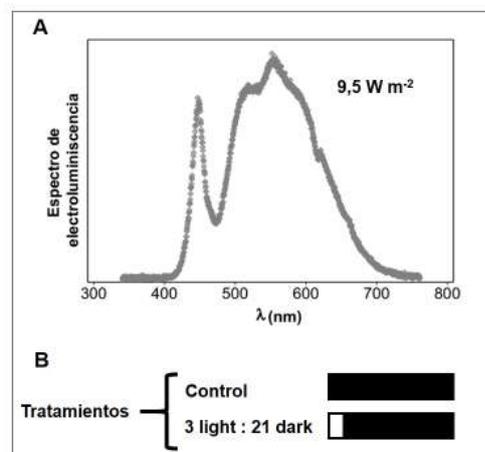




Figura 1: Espectro de electroluminiscencia de la fuente LED blanco utilizada, registrado en la superficie de las bandejas de brócoli (A). Esquema del fotoperiodo utilizado en este estudio para iluminar las bandejas de brócoli refrigerado (B).

2.2. Color superficial

Se determinó midiendo los parámetros L^* , a^* y b^* con un colorímetro que cubría un área superficial de 8 mm^2 (Minolta CR400, Osaka, Japón). El ángulo de tono ($^{\circ}\text{Hue}$) se calculó como $^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}(a/b) + 180^{\circ}$ cuando $a < 0$ y $b > 0$, o como $^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}(a/b)$, cuando $a > 0$ y $b > 0$. Se midieron tres posiciones en 10 cabezas de brócoli para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.3. Pérdida de peso y tasa respiratoria

Para la pérdida de peso, las cabezas de brócoli se pesaron antes y luego de 13 y 22 d de almacenamiento. Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso en relación con el peso inicial. Para la tasa respiratoria, cabezas de brócoli se colocaron en frascos de 3.000 ml, se sellaron y se incubaron en oscuridad a 5°C durante 15 min. 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 $\text{mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

2.4. Azúcares

Se separaron los primordios florales utilizando un cúter y los mismos se congelaron inmediatamente en N_2 . Aproximadamente 50 g de la muestra congelada se molió en un molino y 0,6 g del polvo se homogeneizaron con 5 ml de etanol en vórtex durante 1 min. La mezcla se centrifugó a $5.000 \times g$ durante 10 min a 4°C ; el sobrenadante se recuperó y se filtró a través de una membrana RC de 0,2 μm (Cole-Parmer, EE.UU.). Para la determinación de azúcar, se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento (HPLC, Waters 1525 Binary HPLC Pump), equipado con un detector de índice de refracción (Waters, IR 2414) y una columna Hypersil Gold Amino (4,6 x 250 mm, 5 μm , termo Sci., USA). Las muestras se analizaron con un caudal isocrático de $1,0 \text{ ml min}^{-1}$ de acetonitrilo/agua (70:30). Se obtuvieron dos extractos por muestra y tiempo de almacenamiento y las mediciones se realizaron por duplicado. Los resultados se expresaron como mg kg^{-1} de azúcar en una base de peso fresco.



2.5. *Sustancias reactivas al reactivo de Folin*

Se obtuvieron extractos etanólicos como en la *sección 2.4*. Un volumen de 50 μl del extracto se adicionó a 950 μl de agua destilada y 50 μl de reactivo de FC diluido en agua (1:1). Después de 3 min, se agregaron 100 μl de una solución que contenía 20% (m/v) de Na_2CO_3 en 0,1 mol L^{-1} NaOH y se ajustó el volumen final a 2500 μl con agua destilada. La solución resultante se incubó a 25 °C durante 90 minutos (**Singleton et al., 1999**). Se midió la absorbancia a 760 nm. Los fenoles totales se expresaron como mg equivalentes de ácido clorogénico por kg de fresco. Se analizaron tres extractos independientes por tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.6. *Ácido ascórbico*

Muestras representativas de primordios florales se congelaron en nitrógeno líquido, se procesaron en un molino y 1 g del polvo obtenido se homogeneizó con 5 ml de ácido metafosfórico al 2,5% m/v. La mezcla se agitó en vórtex durante 1 min y luego se centrifugó a 12.000 x g durante 10 min a 4 °C. El sobrenadante se recuperó y se filtró a través de una membrana RC de 0,2 μm (Cole-Parmer, EE.UU.) y la determinación del ácido ascórbico (AsA) se realizó mediante un cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento (HPLC, Waters 1525 Binary HPLC Pump), equipado con un detector de matriz de fotodiodos y una columna C18 (4,6 x 150 mm, 5 mm, Waters Corp., EE. UU.). La fase móvil fue 0,5% m/v de ácido metafosfórico/ acetonitrilo (93:7) a un caudal isocrático de 1,0 ml min^{-1} y la longitud de onda para la detección fue de 254 nm. Para la identificación y cuantificación, se emplearon soluciones estándar de AsA. Los resultados se expresaron como mg de AsA por kg de peso fresco. Se realizaron dos extracciones por tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.7. *Análisis estadístico*

El experimento fue diseñado según un diseño factorial. Los factores fueron el tiempo de almacenamiento y los tratamientos luz/ oscuridad. Los datos se analizaron mediante ANOVA y se compararon con un test de Fisher a un nivel significativo de $P < 0.05$.

3. Resultados y discusión

3.1. *Color, pérdida de peso y tasa respiratoria*

Dado que la pérdida de color verde es la principal limitante en la vida poscosecha del brócoli (**Aiamla-or et al., 2010**), evaluamos el efecto de la aplicación de

la luz en la luminosidad (L^*) y el ángulo $^{\circ}\text{Hue}$ (**Figura 2**). Luego de 13 d, los brócolis expuestos 3 h por día a luz de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ tuvieron mayor $^{\circ}\text{Hue}$ en comparación a los almacenados en oscuridad. Esta diferencia se mantuvo luego de 22 d. El L^* se elevó hacia el final del almacenamiento en los brócolis almacenados en oscuridad, mientras que los brócolis expuestos a la luz no tuvieron ese incremento en su luminosidad. 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; Ma et al., 2014; Jin et al., 2015; Favre et al., 2018**).

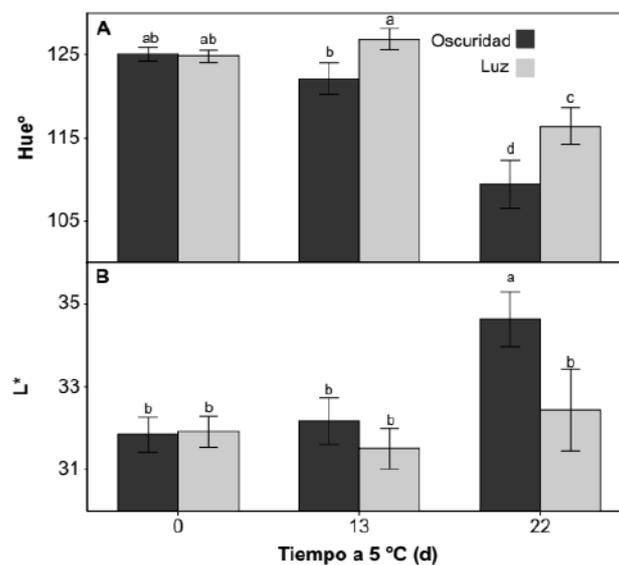


Figura 2: Parámetro del color $^{\circ}\text{Hue}$ (A) y la luminosidad (L^*) (B) de las cabezas de brócoli almacenadas a 5°C en oscuridad o expuestas a 3 h por día de luz LED blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher ($p < 0,05$).

La pérdida de peso rondó el 3 y 5,5 % luego de 13 y 22 d sin diferencias entre los tratamientos (**Tabla 1**). Contrariamente, **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 iluminados en comparación a los almacenados en oscuridad. La diferencia puede radicar en que en ese trabajo se almacenó a temperatura ambiente y aquí se almacenó a 5°C . La tasa respiratoria de los brócolis se mantuvo entre 31,5 y 34,6 $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ durante los primeros 13 d (**Tabla 1**). Hacia el final del almacenamiento la tasa respiratoria se redujo levemente y no se encontraron diferencias entre tratamientos.



Tabla 1: Pérdida de peso y tasa respiratoria durante el almacenamiento a 5 °C de cabezas de Brócoli en oscuridad y expuestas a luz de 9,5 W m⁻², 3 horas por día.

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

La aplicación de luz puede incrementar la tasa respiratoria de los vegetales durante el almacenamiento por favorecer el intercambio gaseoso a través de los estomas (Ayala et al., 2009). Aquí no se registraron cambios significativos en la tasa respiratoria derivados de la exposición a 9,5 W m⁻² de luz por períodos cortos de 3 h.

3.2. Azúcares

Los azúcares son unos de los componentes que más se reducen durante el almacenamiento del brócoli (Costa et al., 2006). Al inicio los niveles de glucosa, fructosa y sacarosa rondaron respectivamente los 8,0; 5,5 y 4,5 g kg⁻¹ (Figura 3). Luego de 13 d, los azúcares se redujeron un 42 % en oscuridad, mientras que en los brócolis expuestos a la luz la reducción fue solo de 17 %. El descenso más marcado fue el de la sacarosa, probablemente por la alta actividad de la enzima invertasa en estos vegetales (Eason et al., 2007). La iluminación logró mermar la reducción en sacarosa. El contenido de glucosa y fructosa se mantuvo prácticamente constante luego de 13 d en los brócolis iluminados, mientras que se redujo aproximadamente 40 % en las cabezas almacenadas en oscuridad en el mismo período. 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. El mayor nivel de azúcares podría adjudicarse a una menor tasa respiratoria y demanda de carbono en los brócolis expuestos a la luz (Costa et al., 2006). Sin embargo, no se registraron cambios en la tasa respiratoria (Tabla 1). 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. 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**). Nosotros analizamos el contenido de azúcares de 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. Más estudios son necesarios para entender mejor el mecanismo por el cual la luz conserva mayores niveles de azúcares en brócoli.

3.3. Antioxidantes

El brócoli es considerado un vegetal con excelentes propiedades nutricionales debido a su elevado contenido de antioxidantes y glucosinolatos (**Wang et al., 2017**). Nosotros analizamos el contenido de ácido ascórbico (AsA) y antioxidantes ya que varían considerablemente durante el almacenamiento (**Lemoine et al., 2009; Rybarczyk-Plonska et al., 2014**). El contenido de AsA al inicio fue de 850 g kg^{-1} y experimentó una

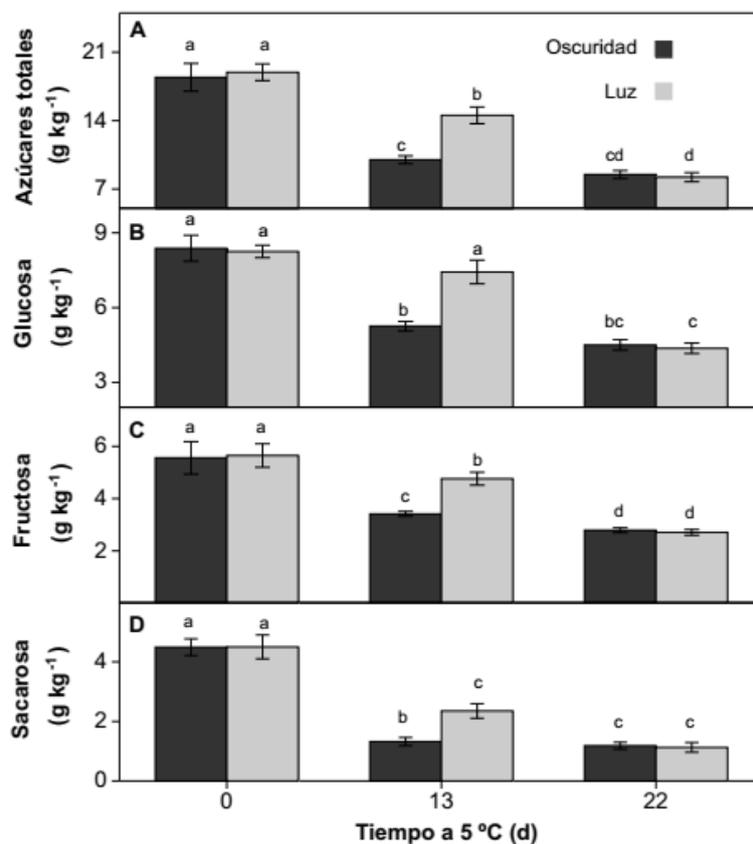


Figura 3: Contenido de azúcares totales (A), Glucosa (B) Fructosa (C) y Sacarosa (D) de las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C en oscuridad o expuestas a 3 h por día de luz LED blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher ($p < 0,05$)

marcada reducción a través del almacenamiento, pero a un ritmo mucho menor en los brócolis expuestos a la luz (**Figura 4A**). Luego de 13 d el AsA se redujo un 60 % en los

brócolis almacenado en oscuridad, mientras que la luz redujo la tasa de degradación a la mitad. Esta diferencia fue menos marcada luego de 22 d. Se ha informado que la luz puede incrementar la expresión de genes relacionados con la síntesis de AsA en brócoli (Ma et al., 2014), aunque se han encontrado distintos efectos de la luz en AsA, desde un retraso en la degradación como en el caso de coliflor (Zhan et al., 2014b) hasta efectos nulos en brócoli (Rybarczyk-Plonska et al., 2014; Hasperué et al., 2016). Los brócolis expuestos a la luz tuvieron mayores niveles de antioxidantes que los almacenados en oscuridad durante todo el almacenamiento (Figura 4B y 4C). Este resultado está en línea con Jin et al., (2015) y Favre et al., (2018). Sin embargo, Hasperué et al., (2016a), no encontró diferencias en antioxidantes entre los brócolis no iluminados o los expuestos a luz blanca / azul. La luz de $9,5 \text{ W m}^{-2}$, 3 h por día, fue eficaz para conservar los niveles de AsA y fenoles en brócoli durante el almacenamiento refrigerado. El mayor nivel de antioxidantes encontrado aquí puede indicar un mantenimiento del estatus redox del vegetal, relacionado con la menor senescencia observada (Das and Roychoudhury, 2014).

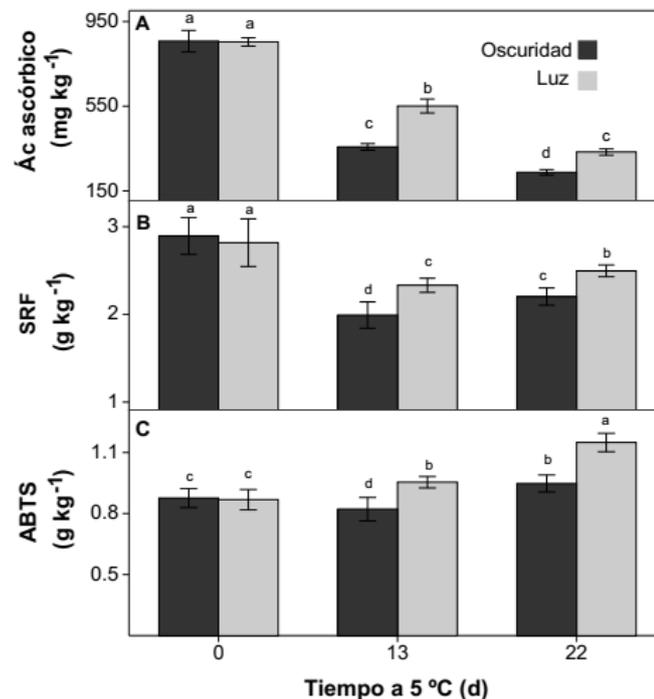


Figura 4: Contenido de Ác. Ascórbico (A), sustancias reactivas al reactivo de Folin (SFR) (B) y antioxidantes por ABTS^{•+} (C) durante el almacenamiento a 5 °C de las cabezas de brócoli almacenadas a 5 °C en oscuridad o expuestas a 3 h por día de luz LED blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según test de Fisher ($p < 0,05$).

4. Conclusiones



La luz blanca de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ aplicada 3 h por día fue efectiva para retrasar el amarillamiento del brócoli almacenado a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sin afectar la pérdida de peso ni la tasa respiratoria en comparación con el almacenamiento en la oscuridad. Los brócolis expuestos a la luz tuvieron mayores niveles de azúcares y antioxidantes. La exposición a períodos de 3 h de luz blanca con intensidad de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ puede ser una técnica promisoriosa para complementar el almacenamiento refrigerado de cabezas de brócoli enteras.

5. Agradecimientos

Agradecemos a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT-2015-3690) y a la Comisión de Investigaciones Científicas (Res.801/18) por el financiamiento.

6. Bibliografía

-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, 645-651.

-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, 1333-1343.

-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, 204-210.

-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.

-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.

-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.

-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, 53.



-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. *Physiologia plantarum*, 130, 46-57.

-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, 97-102.

-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.

-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, 151-158.

-Hasperué, J. H., Guardianelli, L., Rodoni, L. M., Chaves, A. R., Martínez, G. A. (2016a). Continuous white-blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 495-502.

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

-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.

-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.

-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.

-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.

-Kunkel, D. Science photo library. Access 2019.

<https://www.sciencephoto.com/media/801532/view>

-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.

-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.

-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 Biology and Technology*, 111, 330-336.

-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.

-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.

-Ma, G., Zhang, L., Setiawan, C. K., Yamawaki, K., Asai, T., Nishikawa, F., 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 Biology and Technology*, 94, 97-103.

-Magwaza, L.S., Opara, U.L., Cronje, P.J.R., Landahl, S., and 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.

-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.

-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.

-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.

-Olarde, 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.

-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.



-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.

-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.

-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.

-Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* 299, 152-178.

-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.

-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.

-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.

-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.

-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.

-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.

-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.