



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Trabajo Final de Carrera

Licenciatura en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Facultad de Ciencias Exactas

“Impacto del tratamiento con luz LED sobre la calidad poscosecha de hierbas aromáticas frescas”



Alumna: Mariana Dalponte

Directora: Dra. María José Zaro

Co-Director: Dr. Joaquín H. Hasperué

Año 2019

El presente trabajo de Tesis para optar por el título de ***Licenciada en Ciencia y Tecnología de Alimentos*** fue realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA, Fac. Cs. Exactas, UNLP - CIC - CONICET) y en el Laboratorio de Investigación de Productos Agroindustriales (LIPA, Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP).

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento:

En primer lugar, a mi familia por brindarme la posibilidad de estudiar y la fortaleza que me permitió llegar hasta el final de esta carrera. Sin su amor y apoyo no lo hubiese logrado.

A Edu por todo el amor que me brindó en estos años.

A mis amigos Juli, Sofi, Lu, Panchi, Alan, Mica, Ale y Fran por ser mi familia platense y acompañarme en todos los momentos.

A los amigos que me dejó esta hermosa carrera, especialmente a Flor y Marti por ser incondicionales y a Alan por la compañía en esta última etapa. A mi amiga Flor quiero agradecerle en especial, por ser mi sostén y bancarme en todos los estados.

A mis directores, Majo y Joaquín, por permitirme realizar este trabajo final con ellos, compartiendo sus conocimientos y ayudándome en todo. También quiero agradecer su comprensión y paciencia durante esta etapa.

Al CIDCA, especialmente al grupo de vegetales, por prestarme sus instalaciones y por su colaboración y buena onda.

A la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata por la formación académica.

Finalmente, a todos los que permitieron la realización de este Trabajo Final.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

La presente Tesis de Grado ha aportado información para la elaboración del siguiente trabajo científico:

“Impacto del tratamiento poscosecha con luz LED sobre el contenido de antioxidantes de brotes de soja”. Dalponte, M; Hasperué, J; Zaro, MJ. Congreso. VII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Octubre de 2018. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

RESUMEN

La comercialización de hierbas aromáticas frescas, envasadas y refrigeradas es una opción de creciente interés para productores y consumidores debido a su mayor valor agregado y facilidad de empleo. Sin embargo, su comercialización muestra limitaciones debido al carácter altamente perecedero de estos productos y a la escasa información sobre los cambios en la calidad y composición durante el almacenamiento. Resulta de interés entonces buscar estrategias que permitan extender la vida útil. En los últimos años se ha puesto el foco en el empleo de tecnologías limpias (métodos físicos) como tratamientos de conservación poscosecha. Entre ellos, es sabido que la aplicación de luz visible puede tener efectos significativos en la calidad de los vegetales ya que incide en la fotosíntesis, el crecimiento, el desarrollo y la biosíntesis de metabolitos secundarios. Dentro de las diferentes opciones de tratamientos con luz, aquellos aplicados a partir de diodos emisores de luz (LEDs) muestran ventajas respecto de otras fuentes lumínicas. Recientemente promisorios resultados han sido descritos acerca del impacto de la aplicación de luz LED, en pre o poscosecha, sobre la calidad de ciertos vegetales. Sin embargo, esto no ha sido estudiado aun en hierbas aromáticas. El objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto del tratamiento poscosecha con luz LED de diferentes longitudes onda sobre la calidad y composición de hierbas aromáticas frescas (ciboulette y cilantro). Se evaluó el efecto sobre la apariencia y grado de deterioro de las muestras, la tasa de pérdida de peso, los cambios de color y el contenido de antioxidantes y pigmentos durante el almacenamiento refrigerado (4 °C). En el caso de ciboulette, la alta susceptibilidad a la pérdida de agua determinó que los tratamientos con luz LED de diferente longitud de onda (blanco, rojo, verde y rojo/azul) no resulten efectivos para la conservación de la calidad de esta especie. Para cilantro se ensayaron los tratamientos LED blanco, azul y la combinación blanco/azul. En todos los casos los tratamientos con luz no afectaron de manera negativa la apariencia del cilantro por 14d. El deterioro se mantuvo dentro de niveles aceptables y similares al control. Si bien la pérdida de peso y el amarilleamiento se incrementaron con el tiempo y el control mostró el menor grado de deterioro, en ningún caso se llegó a afectar la apariencia del producto. Se halló además que la combinación blanco/azul tuvo la mejor respuesta frente a estos parámetros entre los tratamientos LED. Estos resultados están en línea con la mayor tasa de pérdida de peso observada en otros vegetales sometidos a tratamientos con luz, posiblemente debido a su efecto sobre la apertura de estomas en las hojas y el aumento de la transpiración. Más allá de esto, el cilantro tratado con LED blanco/azul presentó los mayores niveles de capacidad antioxidante y ácido ascórbico, y conservó el contenido de pigmentos en niveles similares al control. De esta forma permitió obtener un producto mejorado en sus propiedades antioxidantes respecto del control. Es sabido que la cantidad y calidad de la luz que incide en el material vegetal puede activar rutas metabólicas implicadas en la biosíntesis de ciertos metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes. Lo mismo ocurre cuando el producto es

sometido a condiciones de estrés, tal como lo es la exposición a bajas temperaturas durante el almacenamiento. Futuros ensayos que evalúen condiciones para un mayor control de la deshidratación del cilantro, por ejemplo ajustando la humedad relativa ambiente o disminuyendo el tiempo de exposición de las muestras a la luz (duración del fotoperiodo), permitirán seleccionar la longitud de onda más eficiente para la preservación de la calidad del producto, capitalizando además los beneficios del tratamiento LED sobre las propiedades antioxidantes de esta hierba aromática.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Resumen | 4 |
| Introducción General | 8 |
| <i>Producción hortícola nacional y local</i> | 9 |
| <i>Producción de hierbas aromáticas en Argentina</i> | 10 |
| <i>Clasificación taxonómica y descripción botánica del ciboulette</i> | 11 |
| <i>Historia y cultivo del ciboulette</i> | 11 |
| <i>Valor nutricional del ciboulette</i> | 11 |
| <i>Clasificación taxonómica y descripción botánica del cilantro</i> | 12 |
| <i>Historia y cultivo del cilantro</i> | 12 |
| <i>Valor nutricional del cilantro</i> | 13 |
| <i>Deterioro poscosecha de hierbas aromáticas</i> | 13 |
| <i>Aspectos tecnológicos poscosecha en hierbas aromáticas</i> | 14 |
| <i>Fuentes de iluminación</i> | 15 |
| <i>Utilización de la luz por los vegetales</i> | 17 |
| <i>Aplicación de luz durante la poscosecha</i> | 18 |
| Objetivos | 20 |
| Materiales y métodos | 23 |
| <i>Material vegetal y tratamiento con luz LED</i> | 24 |
| <i>Índice de deterioro</i> | 26 |
| <i>Color superficial y pérdida de peso</i> | 27 |
| <i>Materia seca</i> | 27 |
| <i>Capacidad antioxidante por método ABTS</i> | 27 |
| <i>Contenido de fenoles totales</i> | 28 |
| <i>Contenido de ácido ascórbico</i> | 28 |
| <i>Contenido de clorofila y carotenoides totales</i> | 29 |
| <i>Diseño experimental y análisis estadístico</i> | 29 |
| Resultados y discusión | 30 |
| PARTE 1 | 31 |
| <i>Apariencia e índice de deterioro de hierbas aromáticas</i> | 31 |
| - <i>Ciboulette (Allium schoenoprasum L.)</i> | 31 |
| - <i>Cilantro (Coriandrum sativum L.)</i> | 32 |

| | |
|--|----|
| PARTE 2 | 34 |
| - <i>Pérdida de peso</i> | 34 |
| - <i>Materia seca</i> | 35 |
| - <i>Color</i> | 36 |
| | |
| PARTE 3 | 38 |
| - <i>Capacidad antioxidante</i> | 38 |
| - <i>Fenoles totales</i> | 39 |
| - <i>Ácido ascórbico</i> | 39 |
| - <i>Clorofilas y carotenoides totales</i> | 40 |
| | |
| Conclusiones | 42 |
| | |
| Bibliografía | 44 |

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Producción hortícola nacional y local

En Argentina la horticultura es una actividad de gran relevancia económica y social que se caracteriza por la diversidad de cultivos y zonas de producción. Con una producción de 8-10 millones de toneladas anuales en una superficie de 500.000 ha es muy importante su contribución a la producción de alimentos en numerosas regiones del país (Fernández-Lozano, 2012). Sumado a ello, esta actividad genera un gran impacto en las economías regionales debido a la alta demanda de mano de obra directa e indirecta (Castro, 2017). Es creciente además el interés de los consumidores por una alimentación variada y saludable, lo que implica un mayor consumo de hortalizas. Las provincias que más se destacan en términos de volumen producido y comercializado de hortalizas son Buenos Aires, Córdoba, Mendoza, Salta, Santiago del Estero, Jujuy, Santa Fe y Corrientes (INDEC, 2008). El destino principal es el mercado interno (93-94%), y se estima que en promedio el 85% del volumen comercializado se realiza en estado fresco (Fernández-Lozano, 2012). En tanto, el complejo hortícola representa solo 1,1-1,4% de las exportaciones vegetales en nuestro país, destacándose el comercio de papa congelada y ajo deshidratado (Castro, 2017).

Dentro de la actividad pueden diferenciarse zonas hortícolas extensivas, zonas de producción especializada y los cinturones verdes. Estos últimos poseen ciertas características distintivas tales como: cercanía a las grandes ciudades, alto requerimiento de mano de obra, gran diversidad de cultivos, producciones de dimensiones pequeñas (1-40 ha), cercanía a los mercados, sistemas de producción a campo e invernadero, corta vida útil de los productos y distribución rápida a los centros de consumo (Strassera, 2009). El Cinturón Hortícola de La Plata es el segundo más importante del país en términos de superficie de producción de hortalizas y flores de corte, destacándose los cultivos de tomate, pimiento, lechuga y otras hojas, así como crisantemo, rosa y clavel entre las flores (Strasera, 2009; García, 2012). Según el Censo Horti-florícola de la Provincia de Buenos Aires (2005) existe en el Partido de La Plata un área cultivada total de 4.338 ha, repartidas en 1.047 explotaciones productivas de las cuales el 70% corresponden a horticultura, 27% son establecimientos florícolas y 2% son horti-florícolas.

A partir de la década del '90, se produjo un significativo incremento en los rendimientos de los cultivos hortícolas debido a la aplicación de innovaciones tecnológicas, fundamentalmente dirigidas al proceso productivo tales como uso de variedades mejoradas e incorporación de híbridos, incremento del empleo de fertilizantes, mejoramiento en la tecnología de riego y difusión del cultivo bajo invernadero. En cambio, no sucede lo mismo en las etapas de manejo poscosecha y transporte en las cuales aún no se han incorporado masivamente nuevas tecnologías (Fernández-Lozano, 2012). En este sentido, se estima que las pérdidas de hortalizas ascienden al 40% del volumen total de producción luego de la cosecha, en la distribución o a nivel de consumidores, debido tanto a plagas, enfermedades como a

daños durante la manipulación (FAO, 2014). Es por ello que urge en encontrar alternativas tecnológicas que permitan mantener la calidad poscosecha de los vegetales durante el mayor tiempo posible.

1.2. Producción de hierbas aromáticas en Argentina

El volumen de producción y la superficie cubierta por cultivos de hierbas aromáticas y especias en Argentina no es grande, sin embargo, la producción se encuentra diseminada a lo largo y ancho del país, con especies características de cada zona, de acuerdo con las condiciones edáficas, climáticas y culturales imperantes. El destino de estas producciones no es sólo la industria alimenticia, puesto que muchas hierbas aromáticas también se utilizan con fines medicinales, cosméticos y de perfumería (Acerbi y Ruesta, 2005).

La producción de aromáticas en Argentina ronda las 8000 toneladas anuales, obtenidas mediante la siembra de 44000 ha (AACREA, 2006). Ello da cuenta del pequeño tamaño de esta actividad en comparación a otras producciones hortícolas, aunque de una complejidad particular, dado que estos cultivos nuclean a alrededor de 10000 productores.

El consumo nacional de aromáticas es bajo, sin embargo, en ciertos casos hay importación dada la escasa producción a nivel nacional. La principal demanda es generada por 45 empresas especieras, que obtienen los productos directamente desde los productores, y sólo en algunas regiones se encuentran acopiadores los cuales concentran la producción. Más del 85% de esta producción se comercializa en su estado original, el resto presenta algún grado de procesamiento (Di Paola, 2006).

Argentina exporta 2600 toneladas de hierbas aromáticas, lo que representan 4 millones de dólares cuyo destino es el MERCOSUR, mientras que las importaciones son de 4800 toneladas, por un valor de 10 millones de dólares, cuya procedencia es: Alemania, Italia, Brasil y Estados Unidos (Arcebi y Ruesta, 2005).

En cuanto a las hierbas estudiadas en el presente trabajo, se sabe que el cultivo de ciboulette se encuentra distribuido por todo el país, sin embargo, no se poseen datos concretos sobre la producción del mismo. En el caso del cilantro, se cultiva principalmente en las regiones NEA (Formosa, Misiones, Corrientes, Chaco, Entre Ríos) y Pampeana (Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba). Las exportaciones de esta especie muestran incrementos tanto en volumen como en valor en los últimos años. En cuanto a los destinos de exportación, se aprecia que Brasil ha sido el principal mercado de colocación entre los años 2000 y 2008. Chile, Uruguay y Sudáfrica son otros destinos de importancia (Parra y Cameroni, 2009).

1.3. Clasificación taxonómica y descripción botánica del ciboulette

El ciboulette o cebolleta (*Allium schoenoprasum* L.) es una planta de especias proveniente de Europa Central que pertenece a la familia *Liliaceae*. Desde un punto de vista agrícola, se adapta bien a los hábitats secos y soleados debido a sus hojas tubiformes que ofrecen una superficie transpirable reducida y sus pequeños bulbos, que actúan como reservorios de agua (Egert y Tevini, 2002). Morfológicamente, presenta un tallo hueco, fusiforme e hinchado hacia la base, hojas largas y estrechas, flores blancas o rosadas, agrupadas en umbelas, fruto en cápsulas muy pequeñas, lleno de semillas diminutas, y un bulbo pequeño de color blanco o rojizo, de olor fuerte y sabor picante (Sala, 2012).

1.4. Historia y cultivo del ciboulette

A. schoenoprasum L. es la especie comestible más pequeña del género *Allium* (Štajner y col., 2011). El nombre "*schoenoprasum*" se deriva de la palabra griega, "skhoínos" (significa tipo de hierba) y "prason" (significa puerro). Se cree que el ciboulette se origina desde Siberia desde allí se extendió a Asia, Europa y América del Norte (Štajner y col. 2011). *A. schoenoprasum* ahora se cultiva en Austria, Canadá, Francia, Alemania, Gran Bretaña, Italia, los Países Bajos y los EE. UU. En la India, se encuentra en el Himalaya occidental desde Kashmir hasta Kumaon, que crece a una altura de 2400–3000 m (Chopra y col. 1992). En lugares nativos, la ciboulette es una hierba común en el hogar, que crece como un cultivo de jardín y está disponible en las tiendas de comestibles (Chopra y col. 1992).

1.5. Valor nutricional del ciboulette

Estudios epidemiológicos han demostrado que una mayor ingesta de productos de *Allium* se asocia con un riesgo reducido de varios tipos de cáncer (Sengupta y col., 2004). En *Allium schoenoprasum*, Štajner y col. (2004) encontraron que las hojas tienen mayor actividad antioxidante en comparación con los bulbos y tallos debido a la alta actividad de las enzimas relacionadas con el sistema antioxidante y los altos niveles fitoquímicos tales como flavonoides, ácido ascórbico y carotenoides. A continuación, se detalla la composición nutricional de esta especie (**Tabla 1.**):

| | |
|-------------------------|----------|
| Calorías | 30 kcal |
| Proteínas | 3,27 g |
| Lípidos | 0,73 g |
| Carbohidratos | 4,35 g |
| Fibra, total dietaria | 2,50 g |
| Calcio | 92 mg |
| Hierro | 1,60 mg |
| Magnesio | 42 mg |
| Fósforo | 58 mg |
| Potasio | 296 mg |
| Sodio | 3 mg |
| Vitamina C | 58,1 mg |
| Niacina | 0,647 mg |
| Vitamina B ₆ | 0,138 mg |

Tabla 1. Valor nutricional de ciboulette por cada 100 g de producto comestible (Fuente: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 2018).

1.6. Clasificación taxonómica y descripción botánica del cilantro

Coriandrum sativum L., también llamado cilantro o perejil chino, pertenece a la familia *Apiaceae* y es una hierba anual o bienal. Es originario de la zona Europea-Mediterránea (Jing-Na Wei y col., 2019). Esta planta alcanza de 0,30 a 1 m de altura y es lisa en toda su superficie. Las hojas son de color verde, dos veces aladas y desiguales (Ortiz-Cruz, 1999). Existen dos variedades de *Coriandrum sativum*: *vulgare* y *microcarpum*. *Vulgare* es una planta más alta con hojas y frutos más grandes que la variedad *microcarpum*. Las hojas frescas y los brotes de *Coriandrum sativum* se utilizan generalmente como condimentos para alimentos (Jing-Na Wei y col., 2019).

1.7. Historia y cultivo del cilantro

Coriandrum sativum L., es un miembro de la familia *Apiaceae* que se originó en el Mediterráneo oriental y se cultiva ampliamente en África, Europa y Asia (Laribi y col., 2015). India es el mayor productor, consumidor y exportador de cilantro en el mundo con una producción anual de alrededor de tres mil toneladas (Nadeem y col., 2013). Asimismo, las hojas verdes frescas están ampliamente presentes en las cocinas de numerosos países de América Latina como México, Bolivia, Ecuador, Perú y Colombia. En Argentina si bien no existe una tradición de consumo de cilantro, su producción y comercialización se ha incrementando notablemente en los últimos años debido a un mayor conocimiento de sus propiedades por parte de la población local y a la expansión

de las comunidades inmigrantes de otros países de América del Sur como Bolivia y Perú, por lo que en la actualidad este producto puede hallarse fácilmente en mercados regionales y verdulerías. Las hojas, semillas y raíces de cilantro son comestibles (Bhat y col. 2014). Poseen un aroma único y se usan ampliamente como saborizante o para enmascarar olores desagradables de ciertos alimentos (Potter, 1996; Gil y col., 2002).

1.8. Valor nutricional del cilantro

La planta aromática de cilantro, conocida como una hierba culinaria fresca, es una fuente rica de vitaminas, minerales y hierro. El cilantro es conocido por su actividad antioxidante, anti-diabética, anti-mutagénica, contra la ansiedad y antimicrobiana, junto con un efecto analgésico y de equilibrio hormonal (Bhat y col., 2014). Los numerosos beneficios para la salud y el efecto de la hierba como conservante, así como su aroma característico, promueven su uso en los alimentos (Kohara y col., 2006). A continuación, se detalla la composición nutricional de esta especie (**Tabla 2.**):

| | |
|-----------------------|----------|
| Calorías | 23 kcal |
| Proteínas | 2,13 g |
| Lípidos | 0,52 g |
| Carbohidratos | 3,67 g |
| Fibra, total dietaria | 2,80 g |
| Calcio | 67 mg |
| Hierro | 1,77 mg |
| Magnesio | 26 mg |
| Fósforo | 48 mg |
| Potasio | 521 mg |
| Sodio | 46,0 mg |
| Vitamina C | 27,0 mg |
| Niacina | 1,114 mg |
| Vitamina E | 2,5 mg |

Tabla 2. Valor nutricional del cilantro por cada 100 g de producto comestible (Fuente: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 2018).

1.9. Deterioro poscosecha de hierbas aromáticas

La senescencia es una de las posibles etapas finales del desarrollo de un vegetal o una parte del mismo. Habitualmente se evidencia por el amarilleamiento que sufren los órganos verdes a causa de la pérdida de clorofila (Toivonen y Brummell, 2008). Esta transformación visible es acompañada por activos cambios metabólicos que resultan en

la movilización de nutrientes almacenados en los tejidos durante el desarrollo, para ser transferidos a otras partes de la planta. En consecuencia, el principal propósito de la senescencia en las plantas es el reciclado de nutrientes. La etapa final de este proceso es la muerte del órgano en cuestión, aunque la misma es activamente retrasada de modo tal que la planta logre reciclar la máxima cantidad posible de nutrientes (Buchanan-Wollaston y col., 2005).

Los vegetales que son cosechados cuando su desarrollo no está completo o su crecimiento no ha finalizado, están sujetos a un elevado estrés debido a la abrupta disrupción en el suministro de energía, nutrientes y hormonas. Por ello, productos como las hierbas aromáticas sufren una rápida senescencia durante su almacenamiento y tienen una vida útil muy corta.

Otros cambios que se desarrollan durante la senescencia son:

- *Degradación de proteínas y ácidos nucleicos.* La degradación de proteínas y de ARN ocurre paralelamente a la pérdida de la actividad fotosintética. La mayor parte de dichas proteínas están localizadas dentro del cloroplasto y la disminución de su contenido provoca a su vez una acumulación de aminoácidos libres y amoníaco si estos no son translocados a otra parte de la planta. La degradación de ácidos nucleicos, especialmente el ARN, provee una importante cantidad de fósforo y se lleva a cabo por numerosas nucleasas cuya expresión se ve incrementada durante la senescencia (Canetti y col., 2002).

- *Degradación de lípidos.* Durante la senescencia hay una disminución en la integridad estructural y funcional de las membranas celulares, lo que es el resultado del metabolismo acelerado de los lípidos de membrana (Thompson y col., 1998). En el momento de senectud de la hoja, el suministro de hidratos de carbono se ve disminuido por el desmantelamiento del aparato fotosintético y ante la escasez de producción de azúcares, toma importancia la vía del glioxilato para la obtención de energía necesaria para las restantes reacciones catabólicas (Kunze y col., 2006).

1.10. Aspectos tecnológicos de poscosecha en hierbas aromáticas

La calidad de las hierbas se define en términos de aceptabilidad por parte del consumidor, lo que se basa principalmente en aspectos como frescura, uniformidad de tamaño, madurez correcta, ausencia de defectos (podredumbres, daño físico, amarillamiento o marchitamiento), sabor, color y aroma característicos (Brewer, 2011). Sumado a ello, en estos productos la cantidad y distribución de clorofilas contribuyen significativamente al color y atractivo del producto (Gazula y col., 2007).

Por otra parte, las hierbas pueden sufrir pérdida de calidad por las mismas bacterias y hongos que atacan otros productos de hoja verde. Las pudriciones blandas en especial son causadas por numerosas especies bacterianas y resultan en una

descomposición fangosa del tejido infectado (Mitcham y col., 2001). El descarte de las hojas más viejas, el enfriamiento rápido y el almacenamiento a baja temperatura son estrategias para reducir su desarrollo.

Para la mayoría de las hierbas es necesario el almacenamiento a 0 °C a fin de optimizar la calidad y extender la vida de almacenamiento. La vida útil esperada es de tres semanas a 0 °C y dos semanas a 5 °C. Debido a las pequeñas cantidades comercializadas, la pérdida de agua puede ser una causa importante de pérdida de calidad, especialmente en las hierbas de hoja grande como la albahaca y el cilantro (Mitcham y col., 2001).

Debido al aporte de los aceites esenciales al aroma y calidad de las hierbas frescas, es importante acentuar que la vida media de anaquel estimada visualmente es mucho más larga que la vida estimada para el uso culinario. En el caso de cilantro, el aroma se pierde notablemente después de 10 días, aunque mantiene su calidad comercial por 21 días bajo condiciones de almacenamiento refrigerado (Mitcham y col., 2001; Jiang y col., 2002). La rápida disminución de la calidad de la hoja de cilantro como resultado de la senescencia posterior a la cosecha provoca graves pérdidas comerciales. Esto conduce a una marcada baja en la disponibilidad del producto y un fuerte aumento en el precio en el período de escasez (Kaur y col., 2006).

Para mantener la calidad poscosecha de los vegetales, en los últimos años se ha dado un gran impulso a las tecnologías denominadas “limpias” de modo de prolongar la vida útil de los alimentos frescos con el menor impacto ambiental posible. Otro objetivo de los tratamientos poscosecha es mejorar la calidad nutracéutica a través de tratamientos que provoquen un leve estrés que como respuesta incrementa la síntesis de fitoquímicos beneficiosos para la salud. En poscosecha, los tratamientos físicos son considerados “limpios” debido a la ausencia de residuos luego de su aplicación. Entre ellos podemos considerar a las atmósferas controladas o modificadas (Kader y col., 1989), los tratamientos térmicos (en agua o aire caliente) (Lurie, 1998), o con radiación (Costa y col., 2006), entre otros. Debido a su inocuidad y a una disminución marcada en los costos de instalación y mantenimiento, en los últimos años se ha observado un aumento en la experimentación en poscosecha con radiación visible, utilizando luces de diversas longitudes de onda y tiempos de exposición, con diferentes resultados según las condiciones de ensayo y el sistema vegetal estudiado (Ma y col., 2014; Hasperué y col. 2016).

1.11. Fuentes de iluminación

Se dispone actualmente de diferentes fuentes de iluminación artificial, algunas de ellas van quedando obsoletas y otras aumentan año a año su participación tanto en espacios comerciales como en investigación.

-Lámparas incandescentes: son las que tradicionalmente se usaron en espacios hortícolas y en experimentación, tienen como defecto que sólo el 15% de la electricidad que utilizan se convierte en luz, siendo que el 85% restante se disipa en forma de calor. El espectro de iluminación de estas fuentes es continuo, es decir, contiene todas las longitudes de onda del espectro visible y aún en infrarrojo. Tienen baja emisión en los colores fríos como violeta o azul (**Figura 1a, c**).

-Lámparas fluorescentes: a diferencia de las lámparas incandescentes, la radiación emitida es discreta, es decir no emite en el espectro continuo de longitudes de onda. Las lámparas fluorescentes contienen mercurio a baja presión y emiten dos líneas características en el UV a los 185 y 253,7 nm, esta radiación luego es convertida a luz visible con la ayuda de material fluorescente (INCHEM, 2015). En las lámparas de sodio a baja presión las líneas características de emisión son 589,0 y 589,6 nm (amarillo), muy cercanos al máximo de sensibilidad del ojo humano (**Figura 1a**).

-Lámparas LED: Una tecnología que es mucho más reciente son los diodos emisores de luz o LED (*light emitting diodes*). Los LEDs utilizan un diodo semiconductor para generar la radiación visible (Pimputkar y col., 2009), dependiendo la longitud de onda emitida del material semiconductor utilizado (**Figura 1b**). A diferencia de las otras fuentes de luz, los LEDs poseen una mayor eficiencia en la conversión de electricidad en luz y además permiten emitir luz a longitudes de onda específicas permitiendo controlar el espectro de emisión y obteniendo mejores resultados que con otras fuentes de luz (**Figura 1c**) (Terfa y col., 2012). Además, este tipo de dispositivo es frío, es decir, no genera excesivo calor como las lámparas tradicionales. Otra ventaja de los LEDs es que no poseen vidrio frágil, no contienen materiales peligrosos tales como el mercurio y además su tamaño puede adaptarse a piezas muy pequeñas dándoles gran versatilidad (Kraftmakher, 2015).

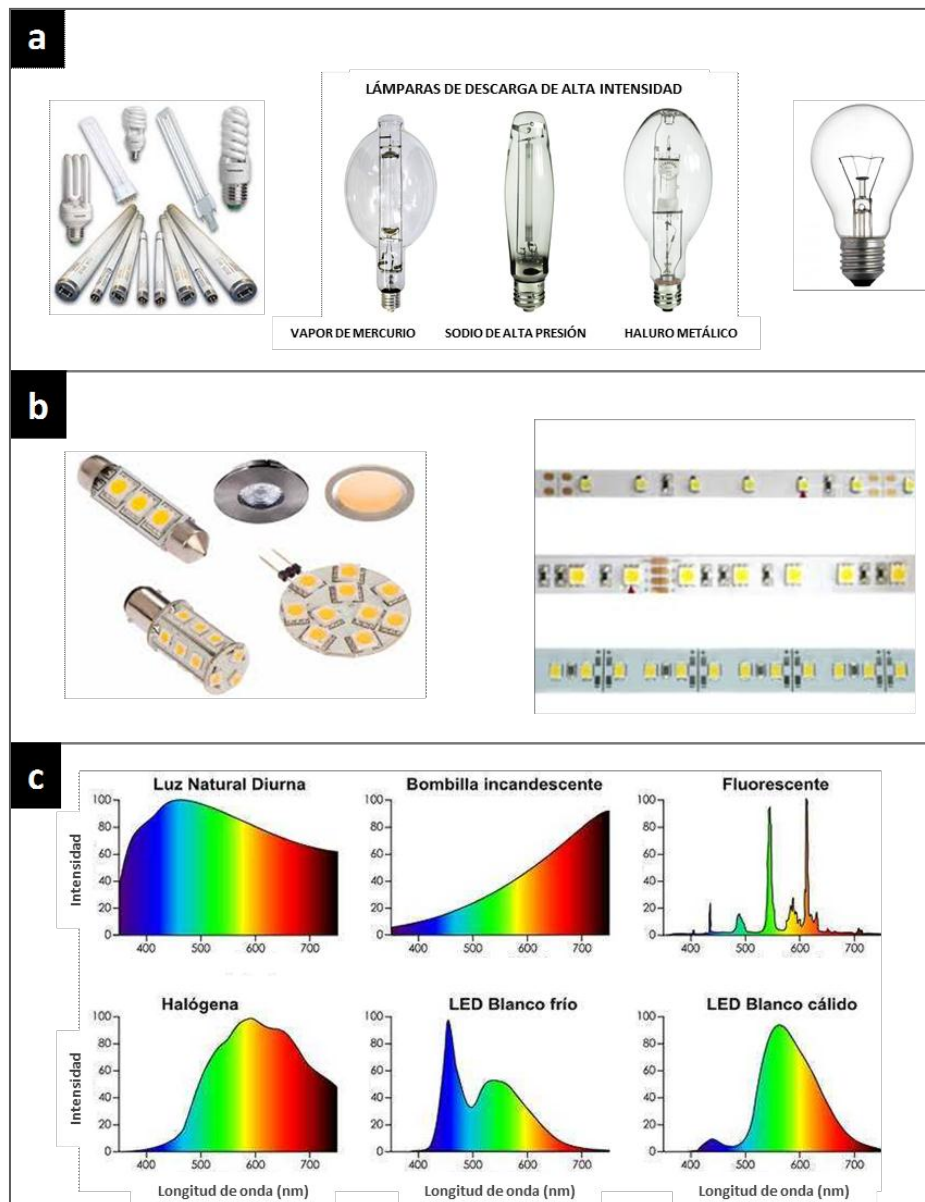


Figura 1. a) Diferentes tipos de lámparas fluorescentes e incandescentes, **b)** luces LED y **c)** espectros de emisión de diferentes fuentes de luz.

1.12. Utilización de la luz por los vegetales

Las plantas utilizan parte de la radiación solar para realizar la fotosíntesis y generar glucosa a partir de CO_2 y agua. La región del espectro fotosintéticamente activa, o PAR (*photosynthetic active radiation*), está comprendida entre los 400 y 700 nm. Esta representa el 45% de la radiación solar que llega a la superficie terrestre (Parlevliet y Moheimani, 2014). La fuente de radiación más económica para la agricultura es sin duda la radiación solar, aunque la iluminación artificial puede considerarse un suplemento de la misma en la agricultura comercial (Hao y Papadopoulos, 1999), por ejemplo, para estudios específicos del crecimiento, morfogénesis y metabolismo del vegetal.

El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de la calidad y la intensidad de la luz, ya que estas censan la calidad de la luz vía fotoreceptores entre los que se encuentran los fitocromos, criptocromos y fototropinas (Lin, 2000). Estos receptores desencadenan respuestas hormonales que están involucrados en una gran variedad de fenómenos incluidos otros procesos tales como la germinación de las semillas, la fotomorfogénesis, la senescencia y la abscisión (Oh y col., 2009; Li y col., 2010; Sassi y col., 2013). Los fitocromos son sensibles al rojo y al rojo lejano, mientras que los restantes receptores mencionados absorben luz azul y UV-cercano (Patil y col., 2003).

Respecto de su aplicación en la horticultura, tratamientos suplementarios en cultivo con luz azul o roja por dos horas incrementaron el rendimiento en plantas de tomate (Xu y col., 2012). En lechuga cultivada en invernadero la suplementación con LED roja/azul (90%/10 %) aumentó el rendimiento, el contenido de vitamina C y los azúcares con respecto a la suplementación con luz HPS (*High Pressure Sodium*) (Wojciechowska y col., 2015). Otro estudio demostró que en plantas de lechuga crecidas bajo luz LED rojo/azul hubo un menor contenido de nitratos y mayor contenido de azúcares que en las cultivadas bajo luz fluorescente (Lin y col., 2013). Si bien algunos trabajos indican que la luz verde induce la elongación del tallo y reduce el crecimiento (Folta y Maruhnich, 2007), otros trabajos han encontrado que el agregado de luz verde a luz roja y azul puede fomentar el crecimiento (Kim y col., 2004). También se encontró que la suplementación con luz azul aumentó el contenido de biocompuestos como carotenoides y glucosinolatos en tallos de plantines de brócoli (Kopsell y Sams, 2013), y la adición de verde aumentó el contenido de vitamina C y fenoles en lechuga (Samuoliené y col., 2012).

1.13. Aplicación de luz durante la poscosecha

La luz visible se ha utilizado también en poscosecha como herramienta para modular el desarrollo y mantener la calidad. La luz LED roja, azul y blanca redujo la senescencia y la abscisión en plantas ornamentales durante la poscosecha (Veitch y col., 2012). En cítricos la iluminación con luz azul o verde durante el almacenamiento redujo la severidad de la infección causada por *Penicillium digitatum*, sin embargo, la luz roja tuvo un efecto contrario (Alferez y col., 2012). Dhakal y Baek (2014) retrasaron la tasa de maduración de tomate a 25 °C mediante aplicación de luz LED azul.

Pese a que existen resultados promisorios, en general en estos tratamientos se ha visto un aumento en la pérdida de peso del producto. Esto ocurre por pérdida de vapor de agua debido a la apertura de estomas que es estimulada por la luz (Kinoshita y col., 2001; Noichinda y col., 2007). Otro inconveniente de este tipo de tratamiento es que puede modificar los niveles de oxígeno óptimos en productos almacenados en atmósferas modificadas (MAP). En el caso de lechuga mínimamente procesada

almacenada en MAP los tratamientos con luz aumentaron la presión parcial de O₂ debido a la fotosíntesis, lo que provocó un mayor pardeamiento del producto (Martínez-Sánchez y col., 2011). De todas formas, la utilización de un envase más permeable al O₂ podría ser una opción para moderar dicho efecto.

Es bien sabido que, en las plantas, la oscuridad induce la expresión de genes implicados en la degradación de clorofila, proteínas y cloroplastos y un aumento de las especies reactivas de oxígeno (Wada e Ishida, 2009). Sin embargo, en muchos casos, la luz no se controla durante el almacenamiento posterior a la cosecha y los productos se almacenan comercialmente en la oscuridad, lo que induce la senescencia y acelera este proceso de manera significativa. La exposición a la luz puede retardar el pardeamiento del tejido de lechugas romanas recién cortadas (Zhan y col., 2012), apio fresco (Zhan y col., 2013b) y retrasar el amarillamiento del brócoli (Büchert y col., 2011).

La luz también tiene un efecto positivo en la calidad nutricional. La luz continua (alrededor de 35 $\mu\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$) mantuvo el nivel de los azúcares solubles y el ácido ascórbico en lechuga romana recién cortada (Zhan y col., 2013a). En hojas de espinaca, el contenido de algunas vitaminas (como ácido ascórbico, folato) mostró valores más altos cuando las hojas se almacenaron bajo luz visible que en la oscuridad (Lester y col., 2010). La luz podría mejorar la síntesis de ácido ascórbico debido al aumento de la capacidad fotosintética que induce la disponibilidad de carbohidratos solubles, especialmente la glucosa (Toledo y col., 2003).

Sin embargo, la luz también podría afectar negativamente la calidad como fue descrito en puerro fresco (Ayala y col., 2009), espárragos (Sanz y col., 2009) y flores de cauli (Olarte y col., 2009).

Más allá de esto, y a pesar de encontrarse resultados promisorios en numerosos vegetales, el efecto de la iluminación LED como complemento de la refrigeración de hierbas aromáticas frescas durante la poscosecha no ha sido aún estudiado en profundidad.

OBJETIVOS

La comercialización de hierbas aromáticas frescas envasadas y refrigeradas es una opción de creciente interés para productores y consumidores debido a que esto representa un mayor valor agregado y facilidad de empleo. Sin embargo, su comercialización muestra limitaciones debido al carácter altamente perecedero de estos productos y a la escasa información sobre los cambios en la calidad y composición de las hierbas durante el almacenamiento. Esto conduce a una baja disponibilidad en los mercados y a un fuerte aumento en los precios. Resulta de interés entonces buscar estrategias tecnológicas que permitan extender su vida poscosecha. Se debe tener en cuenta además el interés de los consumidores por vegetales más sanos y naturales, lo que va dejando de lado el empleo de tratamientos de conservación en base a productos químicos o aditivos sintéticos.

En este sentido, en los últimos años se ha puesto el foco en el empleo de tecnologías limpias (métodos físicos) como tratamientos de conservación. Para el caso de los vegetales es sabido que la calidad de la luz puede tener efectos significativos en la fotosíntesis, el crecimiento, el desarrollo y la biosíntesis de metabolitos secundarios bioactivos. Dentro de las diferentes opciones de tratamiento con luz visible, aquella aplicada a partir de diodos emisores de luz (LEDs) muestra ventajas respecto de otras fuentes lumínicas tales como: mayor eficiencia energética, mayor vida útil, espectro de emisión controlable y una baja producción de energía térmica. Recientemente se ha demostrado además que la aplicación de esta tecnología durante el almacenamiento poscosecha favorece la conservación de la calidad de diferentes vegetales a partir del retraso de la senescencia, del incremento del nivel de ciertos antioxidantes, del mantenimiento de la apariencia fresca, entre otros beneficios.

Si bien existen antecedentes de su aplicación en precosecha, y a pesar de los promisorios resultados del tratamiento durante el almacenamiento en otros productos, no se conoce aun si el tratamiento con luz LED en poscosecha podría resultar una eficaz estrategia de conservación de la calidad y extensión de la vida útil de hierbas aromáticas frescas, de gran importancia culinaria y económica.

OBJETIVO GENERAL

De acuerdo a lo anterior, el presente plan de trabajo tiene como objetivo general determinar el impacto del tratamiento poscosecha con luz LED de diferentes longitudes onda sobre la calidad y composición de hierbas aromáticas frescas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

PARTE 1. Evaluar el efecto del tratamiento con luz LED sobre la apariencia y el retraso del deterioro de hierbas aromáticas frescas (ciboulette y cilantro) durante el almacenamiento refrigerado.

PARTE 2. Determinar el impacto del tratamiento con luz LED sobre la calidad de hojas de cilantro durante el almacenamiento refrigerado.

PARTE 3. Estudiar el impacto del tratamiento con luz LED sobre los niveles de antioxidantes y pigmentos de hojas de cilantro durante el almacenamiento refrigerado.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Material vegetal y tratamiento con luz LED

El ciboulette (*Allium schoenoprasum* L.) y el cilantro (*Coriandrum sativum* L.) fueron adquiridos en el Mercado Regional de La Plata. Si bien los ensayos fueron independientes, ambos tipos de hierbas se prepararon de forma similar. Una vez en el laboratorio las muestras se seleccionaron teniendo en cuenta la ausencia de defectos y la homogeneidad de tamaño. Luego, se colocaron en bandejas plásticas en forma de monocapa de modo que toda la superficie quedara expuesta a la luz sin presentar zonas internas de sombra. A continuación, las bandejas se cubrieron con PVC perforado a fin de evitar la excesiva deshidratación y se almacenaron en cámara a 4 °C. El ciboulette se expuso a cuatro tratamientos diferentes de luz: LED blanco (B), rojo (R), verde (V), y rojo/azul 1:1 (RA), como se muestra esquemáticamente en la **Figura 2a**. En tanto para cilantro si bien en un ensayo previo se aplicaron los tratamientos R y V, ambas bandas se descartaron para los siguientes experimentos debido a que se observó un deterioro acelerado de las hojas. Finalmente, en los experimentos de cilantro se utilizaron como tratamientos: LED blanco (B), azul (A) y a la combinación blanco/azul (BA). En la **Figura 2** se muestra esquemáticamente la ubicación de las bandejas bajo las luces LED: blanco (**Figura 2b**), azul (**Figura 2c**) y azul y blanco combinados (**Figura 2d**). Las muestras se ubicaron a una distancia adecuada para alcanzar la dosis de fotones requerida ($20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), la cual fue seleccionada de acuerdo a trabajos previos (Büchert y col., 2011). El flujo fotónico fotosintético fue medido con un medidor de luz fotosintéticamente activa (PAR) (Radlogger RAD 1, Cavadevices, Argentina). En todos los casos se aplicó un fotoperiodo de 6 hs de luz por día. Los picos de emisión de los LED se ubicaron en 450 + 525-560 nm (blanco), 620 nm (rojo), 520 nm (verde), y 450 nm (azul), medidos con un espectrómetro Avantes AvaSpec USB (Avantes, Holanda). En tanto, las muestras control se prepararon de forma similar, pero fueron almacenadas en oscuridad. Luego de 0, 7 y/o 14 días de almacenamiento refrigerado se evaluaron parámetros de calidad en fresco y se congelaron muestras representativas en nitrógeno líquido y almacenaron a -80 °C para el posterior análisis de los parámetros bioquímicos.

En la **Figura 3** se muestra el espectro de emisión de los diodos (LED) para: azul y blanco combinados (**Figura 3a**), verde (**Figura 3b**) y rojo (**Figura 3c**).

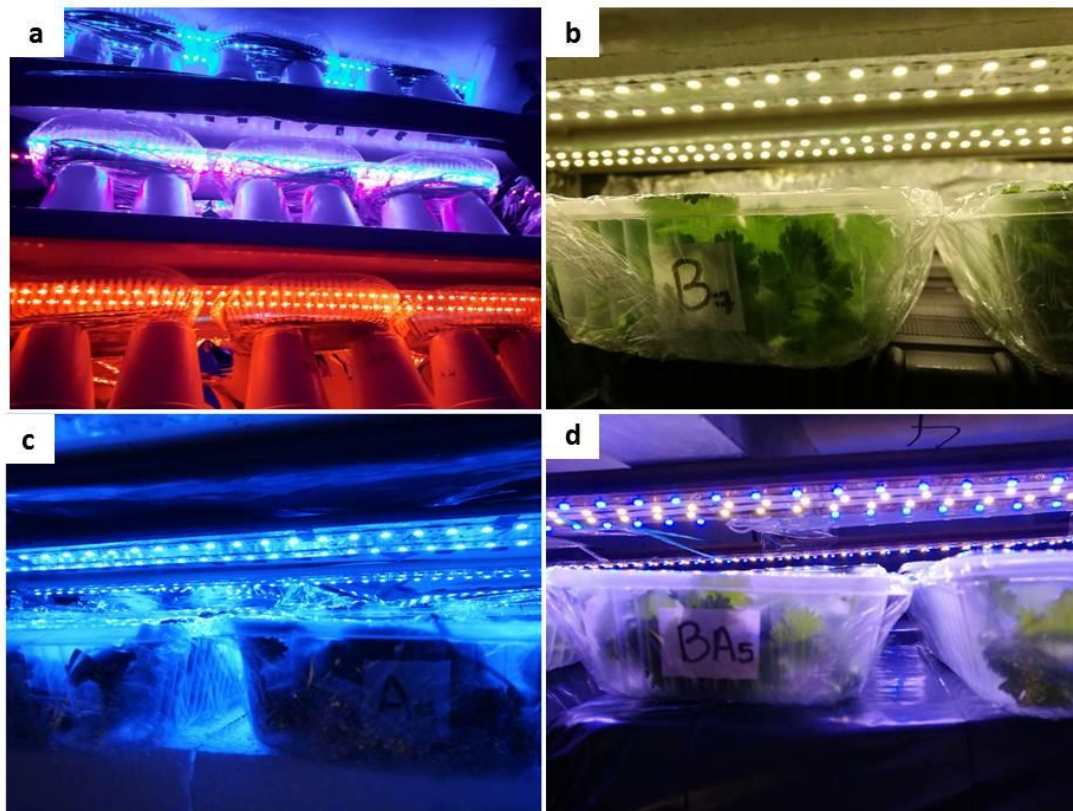


Figura 2. a) Muestras de ciboulette bajo tiras LED, b) muestras de cilantro bajo tiras LED blanco, c) muestras de cilantro bajo tiras LED azul y d) muestras de cilantro bajo tiras LED azul y blanco combinados.

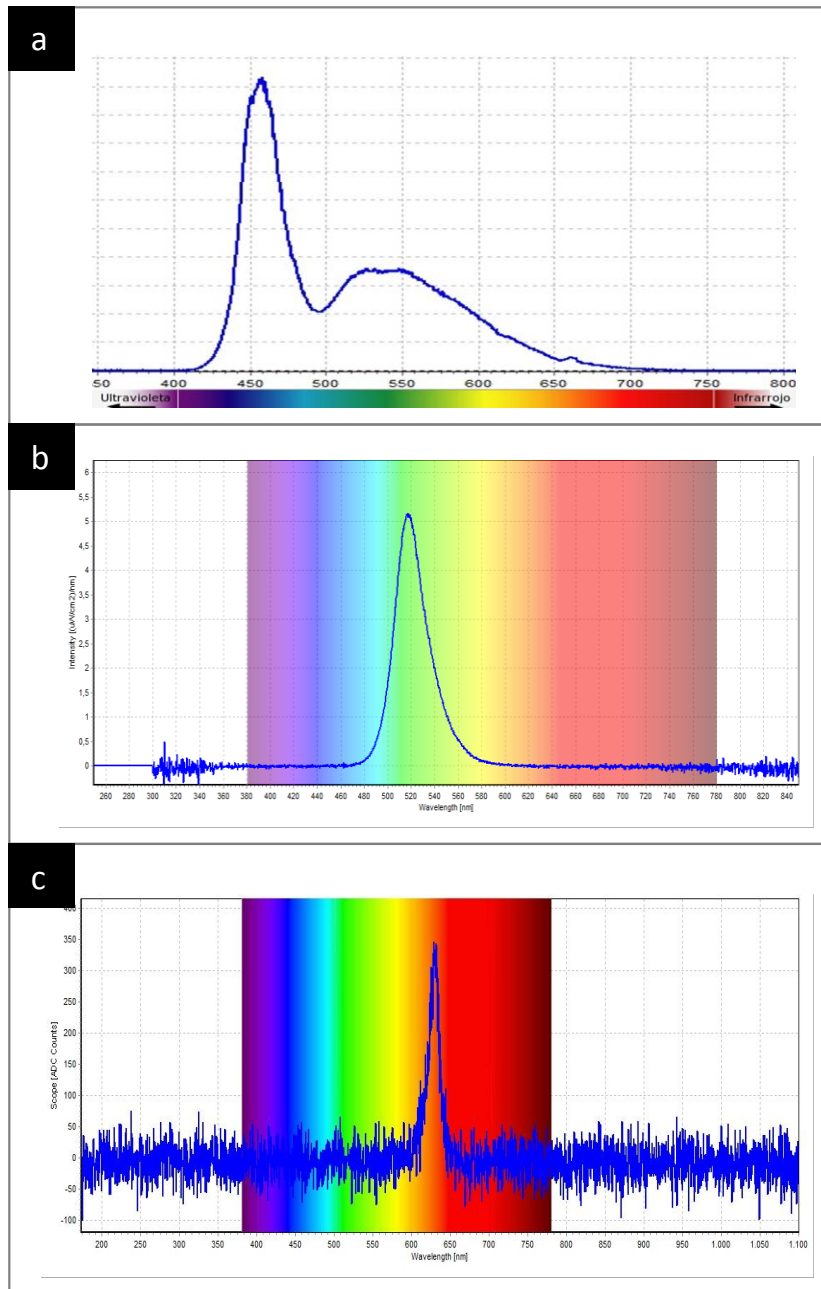


Figura 3. a) Espectro de emisión de los diodos (LED) en azul y blanco combinados, **b)** espectro de emisión de los diodos (LED) en el verde y **c)** espectro de emisión de los diodos (LED) en el rojo. El eje Y se corresponde con intensidad de señal y el eje X con las respectivas longitudes de onda emitidas.

2. Índice de deterioro

El índice de deterioro fue evaluado empleando una escala hedónica según Cantwell y Thangaiah (2010) con ligeras modificaciones. El color se calificó en una escala de 1 a 4, donde 1 = excelente, apariencia fresca, 2 = buena, 3 = regular (aparición de amarillamiento, límite de comercialización), 4 = inutilizable. La deshidratación se calificó en una escala de 1 a 4, donde 1 = ninguna, 2 = leve, 3 = moderada (límite de

comercialización), 4 = grave. Por último, la pérdida de aroma se calificó en una escala de 1 a 4, donde 1 = agradable, producto con aroma característico, 2 = bueno, 3 = moderado (límite de comercialización) y 4 = desagradable.

3. Color superficial y pérdida de peso

El color superficial ($L^*a^*b^*$) fue evaluado con un colorímetro (Minolta CR-400). Para ello se hizo una base con las hojas de cilantro evitando dejar espacios vacíos y luego se tomaron 10 medidas en distintas zonas de la base de cilantro. Las determinaciones se realizaron por duplicado para cada día de almacenamiento. Se analizaron los parámetros L^* (luminosidad) y b^* (color verde).

Para la determinación de pérdida de peso, cada bandeja fue pesada al inicio del ensayo y luego de cada día de muestreo. La pérdida de peso (%PP) fue calculada según:

$$PP (\%) = \frac{(P \text{ inicial} - P \text{ final})}{P \text{ inicial}} \times 100$$

Los resultados se expresaron en porcentaje y las determinaciones se realizaron por sextuplicado.

4. Materia seca

Se tomaron 2 g de hojas de cilantro pertenecientes a cada tratamiento y se secaron en estufa a 105 °C hasta peso constante. El contenido de materia seca (MS) se calculó por diferencia de peso de acuerdo a:

$$MS (\%) = 100 - \frac{[100 \times (P \text{ inicial} - P \text{ final})]}{P \text{ inicial}}$$

Los resultados se expresaron en porcentaje y las determinaciones se realizaron por cuadruplicado.

5. Capacidad antioxidante por método ABTS

Para la determinación de la capacidad antioxidante total se utilizaron extractos etanólicos. Estos fueron preparados a partir de una porción de muestra congelada en nitrógeno líquido que posteriormente se molió en molinillo. Se pesaron aproximadamente 2 g del polvo resultante en un tubo Falcon. Luego se agregaron 10 ml de etanol y se agitó en vórtex por 3 min. Se centrifugó a 5000 rpm por 5 min a 4 °C, se recogió el sobrenadante en otro tubo y se repitió la extracción con la adición de 5 ml de etanol.

El ensayo ABTS se realizó según [Arnao y col. \(2001\)](#). La solución stock del radical estable se preparó pesando 7 mmol de sal de amonio de ABTS^{•+} y 2,45 mmol de K₂S₂O₈. Luego se añadió agua hasta llegar a un volumen de 20 ml y se dejó reaccionar durante la noche a 20 °C en oscuridad. Las soluciones de trabajo de ABTS^{•+} se prepararon por dilución de la solución madre hasta una absorbancia de 0,700 ± 0,03 medida a 734 nm en espectrofotómetro. Las determinaciones se realizaron añadiendo 20 µl de extracto etanólico a 1 ml de la solución de trabajo de ABTS^{•+}, posteriormente se incubó durante 6 min y se midió la absorbancia a 734 nm. Las muestras se midieron por triplicado y se utilizó trolox como estándar antioxidante. El resultado se expresó como capacidad equivalente trolox (TEAC) en mg/kg de MS (materia seca). Las medidas se realizaron por triplicado.

6. Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó según [Singleton y col., 1999](#)). La mezcla de reacción se preparó añadiendo 300 µl de extracto etanólico, preparado como se indica en el punto 5, a 2000 µl de agua y 50 µl del reactivo de Folin - Ciocalteu diluido 1:1 en agua y se agitó en vórtex. Después de 3 min, se añadieron 100 µl de una solución 20 % (p/v) de Na₂CO₃ en NaOH 0,1 N y se incubó a 25 °C durante 90 min. Se midió la absorbancia a 760 nm en espectrofotómetro (UV-Mini modelo 1240, Shimadzu Corporation, Japón). Se empleó ácido gálico como estándar y los resultados fueron expresados como mg ácido gálico equivalente/kg MS. Las medidas se realizaron por triplicado.

7. Contenido de ácido ascórbico

Las muestras congeladas en nitrógeno líquido fueron procesadas en un molinillo y aproximadamente 1 g del polvo obtenido fue homogeneizado con 4 ml de ácido tricloroacético (TCA) al 6 % (p/v). La mezcla se tapó y se agitó durante 30 min a 0 °C y luego se centrifugó a 5000 rpm durante 15 min a 4 °C. El sobrenadante obtenido se utilizó para el análisis de ácido ascórbico (AA) de acuerdo [Hasperué y col. \(2016\)](#), con pequeñas modificaciones. Se tomaron 300 µl de extracto y se añadieron a un tubo de ensayo conteniendo 200 µl de buffer fosfato 0,2 M (pH 7,4). A continuación, se adicionaron 500 µl de TCA 10% (p/v), 400 µL de H₃PO₄ 42% (v/v) y 400 µL de 2,2'-dipiridilo 4% (p/v) en etanol 70 % (v/v). Finalmente 200 µl de FeCl₃ 3% (p/v) preparados en el momento, se agregaron con agitación constante. La mezcla se dejó reaccionar 40 min en un baño de agua a 42 °C y a continuación se midió la absorbancia a 525 nm en espectrofotómetro. Se empleó una solución de ácido ascórbico como estándar y los resultados se expresaron en mg/kg MS. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

8. Contenido de clorofila y carotenoides totales

Las muestras congeladas en nitrógeno líquido fueron procesadas en un molinillo y aproximadamente 0,2 g del polvo obtenido fue añadido a 3 ml de una mezcla acetona/agua (80/20). El homogenato se agitó durante 1 min y centrifugó a 3500 rpm por 10 min. Se recogió el sobrenadante y el pellet se re-extrajo con 3 ml de solvente de extracción. Se realizó una dilución 1:2 del extracto obtenido para respetar el límite de detección del espectrofotómetro. El contenido de clorofila y carotenoides totales fue determinado según Lichtenthaler (1987) midiendo la absorbancia las longitudes de onda de 460, 646.8 y 663.2 nm con espectrofotómetro (UV-Mini modelo 1240, Shimadzu Corporation, Japón). Los resultados se expresaron como mg/kg MS. Las medidas se realizaron por triplicado.

9. Diseño experimental y análisis estadístico

Los experimentos fueron diseñados de acuerdo a un diseño factorial, siendo los factores el tratamiento y el tiempo de almacenamiento. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas mediante el test de Fisher utilizando el software InfoStat (Di Rienzo y col., 2012) a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PARTE 1. *Efecto del tratamiento con luz LED sobre la apariencia y el retraso del deterioro de hierbas aromáticas frescas (ciboulette y cilantro).*

1. Apariencia e índice de deterioro de hierbas aromáticas

La calidad de las hierbas aromáticas se define en gran medida por su aspecto visual, resultando esencial contar con productos de apariencia fresca, color uniforme y sin defectos tales como presencia de hojas dañadas, amarillentas o marchitas (Cantwell y Reid, 2006). Es fundamental además la evaluación del aroma característico, ya que generalmente su intensidad decrece significativamente con el almacenamiento (Viña y Cerimele, 2009). En consecuencia, en la primera etapa del trabajo, a fin de estudiar el efecto de tratamientos con luz LED de diferentes longitudes de onda sobre la apariencia de dos tipos de hierbas aromáticas, ciboulette y cilantro, se definieron índices de deterioro que permitieron evaluar aspectos fundamentales de calidad a través del tiempo de almacenamiento tales como el grado de deshidratación o marchitamiento de las hojas, la pérdida de color verde o amarilleamiento, y la reducción del aroma característico.

1.1. Ciboulette (*Allium schoenoprasum* L.)

En el caso de ciboulette, la exposición a diferentes tratamientos con luz LED (B, R, V y RA) generó una reducción general de la apariencia respecto del control (**Figura 4a**). Esto se vio representado por una significativa deshidratación (**Figura 4b**) y un incremento en el amarilleamiento de las muestras (**Figura 4c**), parámetros que alcanzaron rápidamente valores de índice de daño en los que el producto ya no resulta comercializable ($ID \geq 3$). Si bien la pérdida de aroma característico también se vio inducida por los tratamientos, este aspecto fue menos severo e incluso el tratamiento con LED B mostró valores aceptables ($ID \approx 2$) y similares al control (**Figura 4d**).

Según Viña y Cerimele (2009), la pérdida de agua es el principal factor de reducción de la calidad y limitante de la vida poscosecha de ciboulette fresco. En este sentido los autores informaron que incluso cuando se almacenó bajo refrigeración (4 °C), la pérdida de peso alcanzó niveles mayores al 10% luego de 14 días y del 20% luego de 21 días. En el presente trabajo, sumado a esta condición natural de las muestras, el empleo de tratamientos con luz, resultó en notorios síntomas de deshidratación incluso a tiempos cortos de almacenamiento refrigerado (7 d). Esta aceleración en la deshidratación posiblemente se debió a una mayor apertura de estomas provocada por el estímulo lumínico, y por lo tanto una mayor pérdida de agua por transpiración (Noichinda y col., 2007).

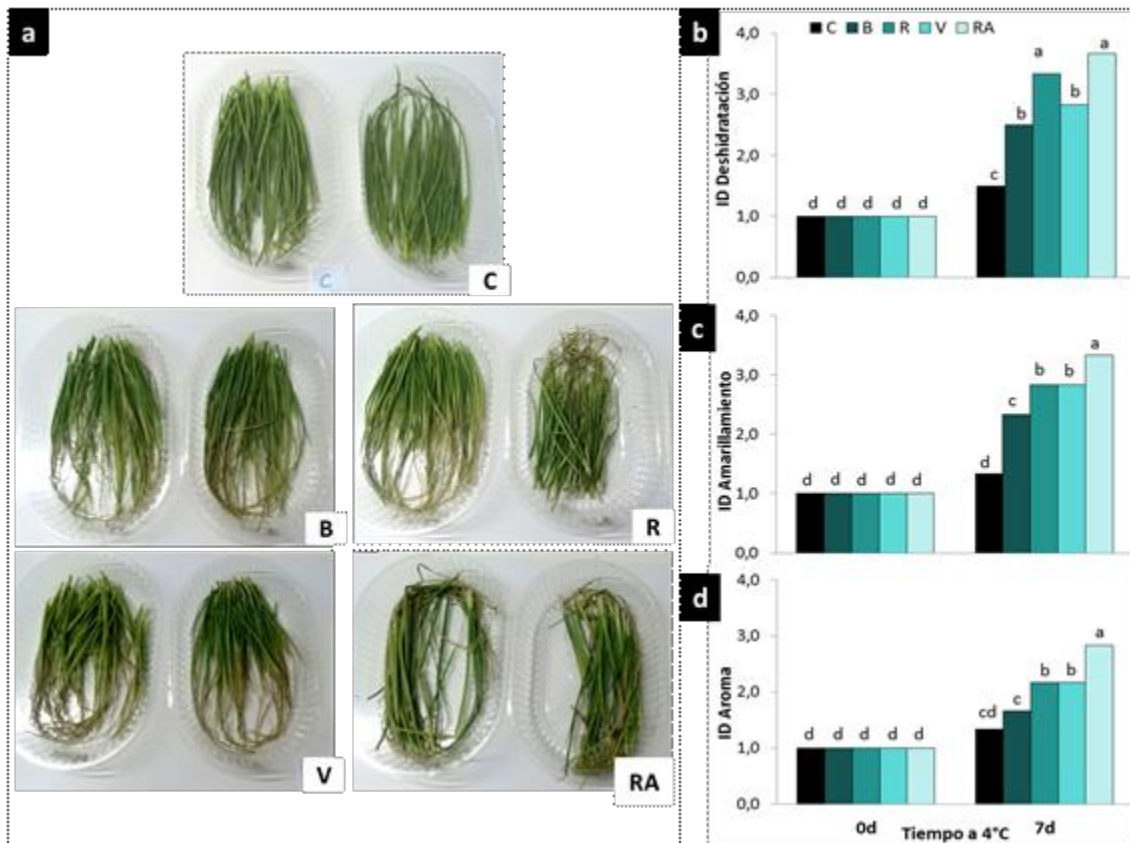


Figura 4. a) Apariencia luego de 7 días de almacenamiento, **b)** deshidratación, **c)** grado de amarilleamiento y **d)** reducción de aroma característico según índice deterioro de ciboulette almacenado a 4 °C. (C=control en oscuridad, B= LED blanco, R= LED rojo, V= LED verde, RA= LED rojo-azul).

1.2. Cilantro (*Coriandrum sativum* L.)

Los tratamientos con luz LED (B, A y BA) conservaron adecuadamente la apariencia visual del cilantro almacenado en refrigeración por 7 días (**Figura 5a**). Luego de 14 d disminuyó la calidad para los tratamientos con luz LED respecto del control, debido a una mayor deshidratación (**Figura 5b**). Este comportamiento se vio reflejado en la evolución de los parámetros del índice de deterioro. Así, la deshidratación se mantuvo en valores cercanos a un ID= 2 luego de una semana de almacenamiento, y sólo el tratamiento LED azul superó levemente este valor (**Figura 5c**). Luego de 14 d el marchitamiento de las hojas se incrementó de forma significativa, sin embargo, su desarrollo se mantuvo aún por debajo del nivel rechazo (ID \geq 3) resultando más afectadas las muestras almacenadas bajo el tratamiento con luz LED blanca (**Figura 5c**). Estos resultados se correlacionaron también con el grado de amarilleamiento de las hojas de cilantro, que mostraron pequeños aumentos para los tratamiento B y A a 7 d y grandes aumentos para todos los tratamientos a 14 d, respecto del día 0 (**Figura 5d**). A pesar de ello ninguno de los tratamientos supero un ID =2,5 y el LED B tuvo la mejor performance luego de 14 d. En tanto, el aroma característico del cilantro se mantuvo sin cambios hasta los 7 d de almacenamiento y a los 14 d alcanzó un ID \approx 2, destacándose

LED B y BA que mostraron una mejor respuesta frente a los restantes tratamientos (Figura 5e).

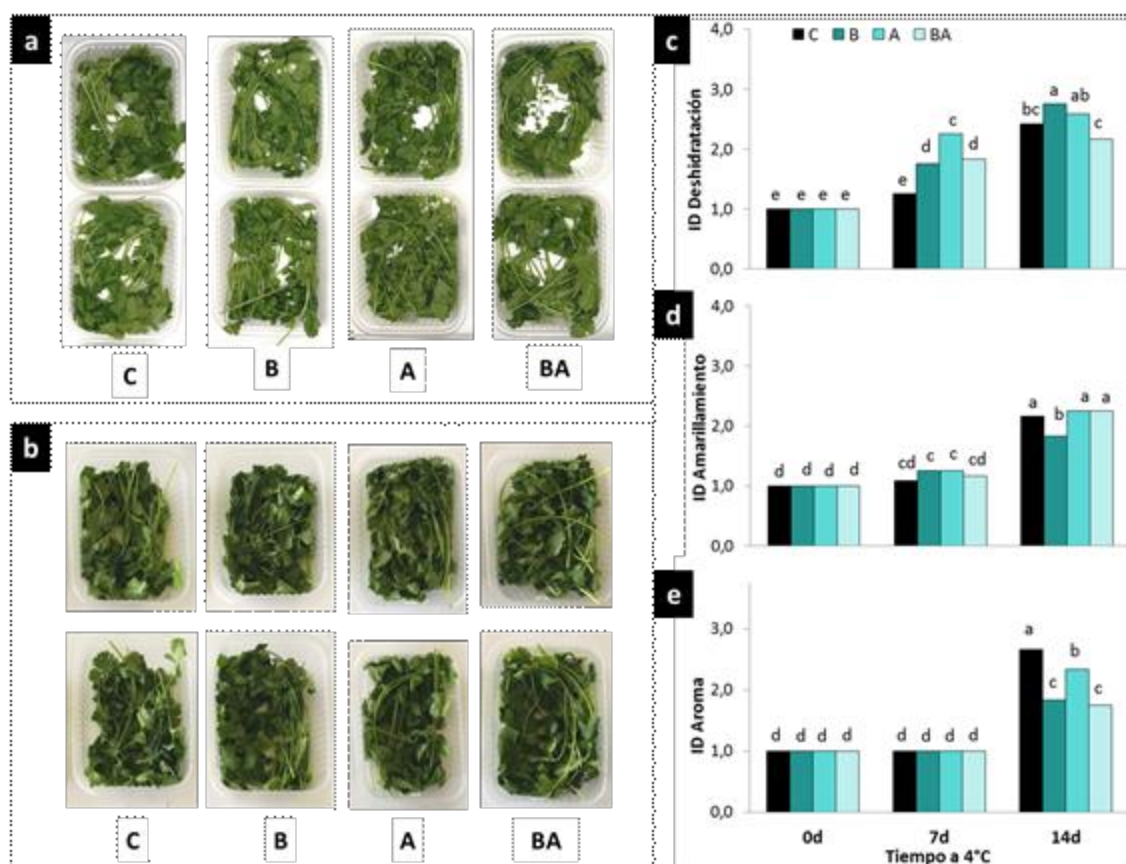


Figura 5. a) Apariencia luego de 7 días de almacenamiento, b) apariencia luego de 14 días de almacenamiento, c) deshidratación, d) grado de amarilleamiento y e) reducción de aroma característico según índice deterioro de cilantro almacenado a 4 °C. (C=control en oscuridad, B=LED blanco, A= LED azul, BA= LED blanco-azul).

En resumen, se halló que los tratamientos con luz LED conservaron satisfactoriamente la apariencia del cilantro almacenado por 14 d, en contraposición a lo observado para ciboulette. Los mayores beneficios fueron la reducción del amarilleamiento por el tratamiento LED B y la conservación del aroma característico por LED B y BA, sumado a ello se encontró que la deshidratación aparente se mantuvo en general en niveles similares al control al finalizar el almacenamiento. Los resultados están en concordancia con lo informado para hojas de cilantro tratadas con 1-metilciclopropano y almacenadas a 5 °C que también registraron una apariencia aceptable por 14 d (Hassan y Mahfouz, 2012). De igual forma, Loaiza y Cantwell (1997) hallaron que el cilantro mantiene una buena calidad visual por 12-14 d cuando es almacenado a 5 °C.

De acuerdo a lo anterior, seguidamente se propuso evaluar el efecto de diferentes tratamientos con luz LED sobre la calidad y la composición de cilantro a través del tiempo de almacenamiento.

PARTE 2. Impacto del tratamiento con luz LED sobre la calidad poscosecha de hojas de cilantro.

2.1. Pérdida de peso

La pérdida de peso por transpiración es uno de los cambios que limita la vida poscosecha de los vegetales, provocando pérdidas cuantitativas directas y el deterioro de la calidad al afectar la apariencia y textura (Kader, 2002). La velocidad de pérdida de agua está determinada por factores internos como las características morfológicas del producto, la relación superficie-volumen o los daños superficiales. En el caso de las hierbas la gran relación superficie volumen y el elevado número de estomas presentes en las hojas resultan en altas tasas de pérdida de agua por transpiración (Cantwell y Reid, 2006). A su vez, las condiciones ambientales como la temperatura, humedad relativa y movimiento del aire, influyen en su desarrollo durante el almacenamiento (Kader, 2002).

En el presente trabajo, la pérdida de peso fresco se incrementó con el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos, aunque fue mayor en las muestras almacenadas bajo los distintos regímenes de luz (**Figura 6a**). Luego de 7 d, los tratamientos LED no mostraron diferencias significativas entre sí, alcanzando una pérdida de peso cercana al 14%, mayor a la registrada en los controles. Si bien a los 11 d y 14 d el tratamiento LED BA mostró una mejor performance que los tratamientos B y A independientes, las pérdidas de peso fueron de 20% y 25% respectivamente, superior a los controles que fueron de 14% a los 11d y 17% a los 14d (**Figura 6a**). Como se mencionó anteriormente, el motivo de una mayor tendencia a perder peso en las muestras tratadas podría deberse a una mayor apertura de estomas causada por la exposición a la luz y consecuentemente una mayor pérdida de peso por transpiración (Noichinda y col., 2007). De forma similar, un significativo incremento de la pérdida de peso fue hallado también para cabezas de brócoli almacenadas bajo LED BA en refrigeración (Hasperué y col, 2016). Según Cantwell y Reid (2006) la cantidad de pérdida de agua a partir de la cual las hierbas se consideran no comercializables varía ampliamente dentro del rango del 5 al 40%. Estos autores hallaron para cilantro una moderada tasa de pérdida de peso a temperatura ambiente ($1 \text{ ml g}^{-1} \text{ d}^{-1}$), respecto de otras hierbas más sensibles como menta o perejil. En este sentido, si bien la pérdida de peso observada fue elevada no modificó la apariencia de las muestras tratadas respecto del control (**Figura 5c**), y los valores estuvieron en el orden de lo informado previamente por Hassan y Mahfouz (2012), que hallaron una pérdida de peso del 18% para hojas de cilantro almacenadas por 9 d a 5 °C.

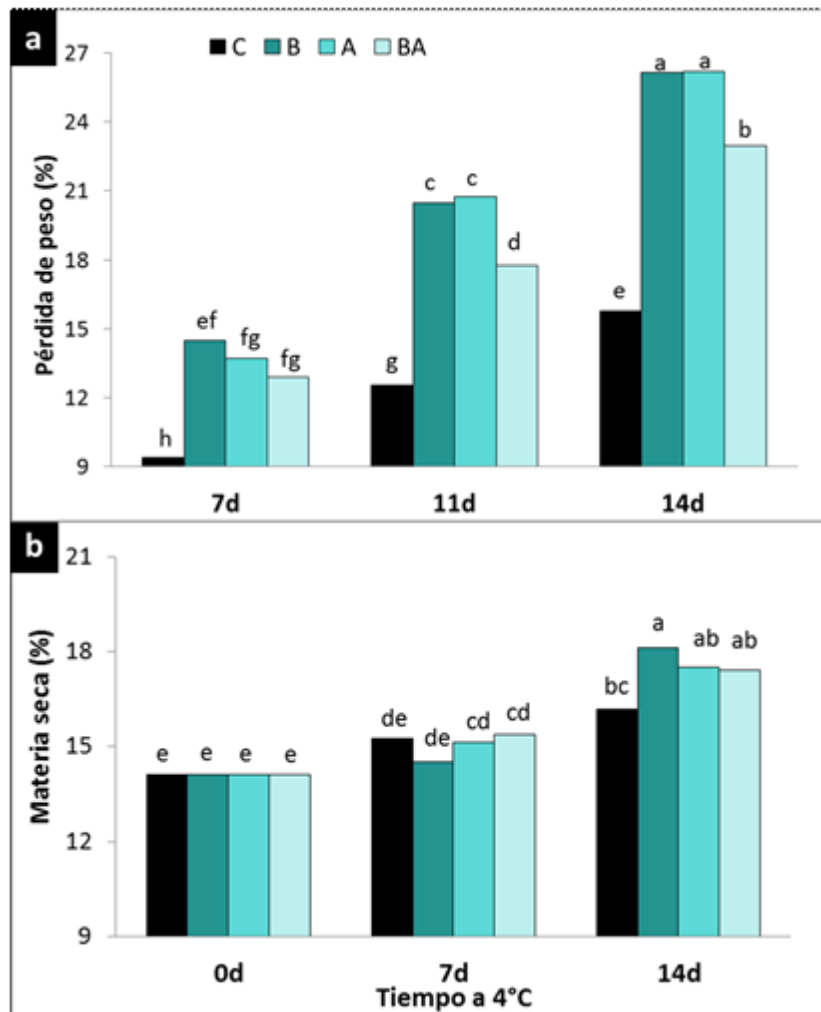


Figura 6. a) Porcentaje de pérdida de peso y b) contenido de materia seca de cilantro almacenado a 4 °C por 14 d (C=control en oscuridad, B= LED blanco, A= LED azul, BA= LED blanco-azul).

2.2. Materia seca

El contenido inicial de materia seca de las hojas de cilantro estuvo en el orden del 14%, resultando superior al 10 y 12% informado previamente para esta especie (Sharma y Sharma, 2012; Santos y col., 2014). Su porcentaje se incrementó además con el tiempo de almacenamiento para los tratamientos (Figura 6b). Luego de 7 d el porcentaje de materia seca aumentó alrededor de un 9% para los tratamientos LED A y BA respecto del día inicial. En tanto se incrementó un 14% para el control y un 25% para el tratamiento con luz LED blanca al finalizar el almacenamiento respecto del día 0 (Figura 6b). Los aumentos observados pueden relacionarse con la tendencia seguida por la pérdida de peso lo que determinaría el mayor contenido de materia seca de las muestras tratadas (Figura 6a).

2.3. Color

El parámetro de color L^* describe la luminosidad de las hojas de cilantro y un mayor valor indica amarilleamiento del tejido debido al avance de la senescencia (Hasperué y col., 2016; Buthelezi y col., 2016). De igual forma un valor positivo más alto de b^* se relaciona con un paso del color verde al amarillo (Buthelezi y col., 2016). En ambos tiempos de almacenamiento las hojas de cilantro tratadas bajo los diferentes espectros de luz mostraron solo pequeñas variaciones en su luminosidad respecto del día inicial (**Figura 7a**), mientras que un significativo aumento en los valores del parámetro b^* fue observado luego de 7 días de almacenamiento para todos los tratamientos incluido el control, manteniéndose sin modificaciones luego salvo para el tratamiento LED B que mostro un ligero oscurecimiento (**Figura 7b**). En concordancia, escasos cambios en L^* y un incremento de b^* fue hallado previamente para hojas de cilantro almacenadas a 3 °C por 10d (Santos y col., 2014). Este comportamiento indica que las hojas se volvieron más amarillas durante la poscosecha, pero sin encontrarse diferencias debidas a los tratamientos en línea con lo descrito previamente para la apariencia e índice de deterioro (**Figura 5 a y d**). Sin embargo, los resultados obtenidos aquí se contraponen a lo informado por Hasperué y col. (2016) quienes encontraron que la exposición de brócoli al tratamiento con luz LED BA durante la poscosecha ayudó a mantener el tejido más verde, mientras que los controles almacenados en oscuridad mostraron mayor L^* , sugiriendo un amarilleamiento de las muestras más rápido e intenso. Esta discrepancia sugiere que, al tratarse de distintos órganos de la planta, la estructura superficial del tejido vegetal es diferente. Especialmente el espesor de la cutícula, así como disposición y número de estomas en hojas (que es distinta en los ejemplares de las diferentes familias botánicas) podría ser determinante en la economía del agua y por lo tanto en la velocidad de la senescencia del producto.

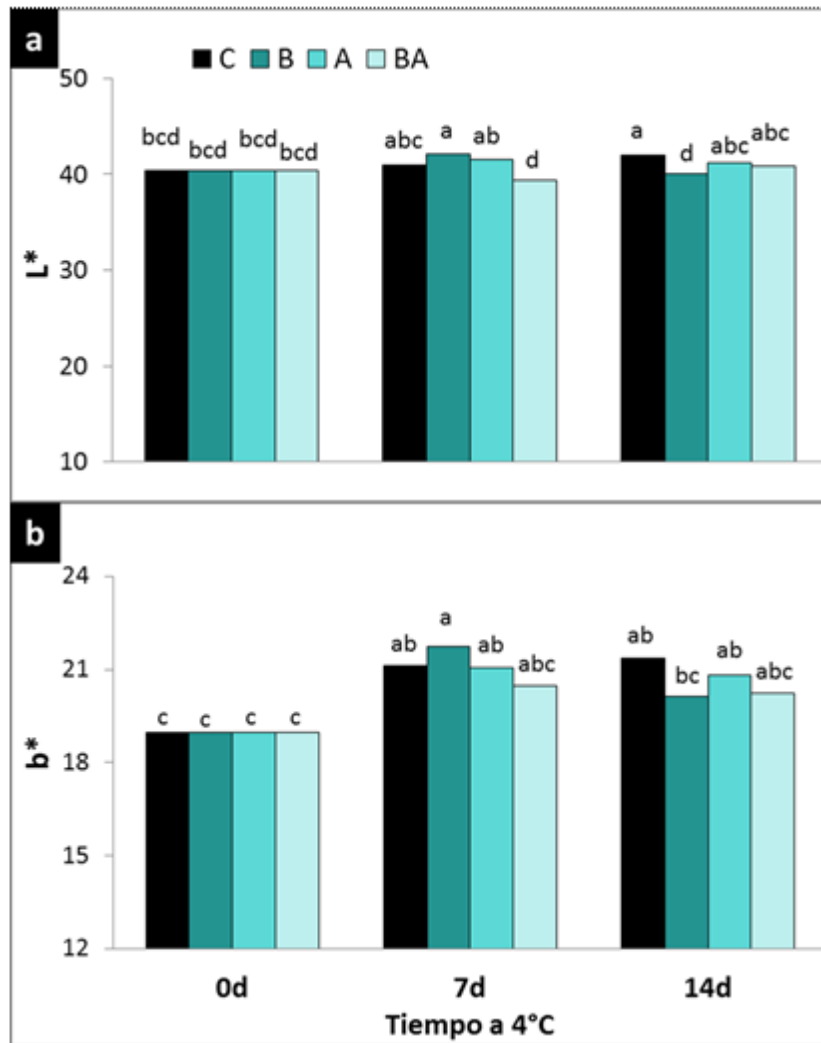


Figura 7. a) Luminosidad (L*) y **b)** color (b*) de cilantro almacenado a 4 °C por 14 d (C=control en oscuridad, B= LED blanco, A= LED azul, BA= LED blanco-azul).

PARTE 3. Impacto del tratamiento con luz LED sobre los niveles de antioxidantes y pigmentos de hojas de cilantro.

3.1. Capacidad antioxidante

La exposición a diferentes tipos de estrés ambiental, así como el envejecimiento natural de los vegetales durante la poscosecha implica la generación de especies reactivas de oxígeno (EROs) que incluyen al anión superóxido (O_2^-), al radical hidroxilo (HO^\cdot) y al peróxido de hidrógeno (H_2O_2), los cuales causan daños en los lípidos de las membranas celulares (Hassan y Mahfouz, 2012). Además, en las hojas durante la senescencia los radicales libres pueden degradar proteínas, fosfolípidos y pigmentos (Hassan y Mahfouz, 2012). Para contrarrestar estos efectos las plantas cuentan con sistemas de defensa antioxidante, tanto enzimáticos como no enzimáticos. En este sentido, las hojas de cilantro son una muy buena fuente de fitoquímicos con propiedades antioxidantes tales como ácido ascórbico, carotenoides, polifenoles y aceites esenciales (Divya y col., 2012). Estas sustancias retrasan o previenen la senescencia del tejido vegetal a partir de la captación de radicales libres, por lo que su biosíntesis puede inducirse en condiciones de estrés (Kalt, 2005). A su vez imparten propiedades beneficiosas para la salud cuando las hojas son ingeridas como especias en diferentes alimentos (Schreiner y Huyskens-Keil, 2006).

En el presente trabajo, la capacidad antioxidante de las muestras aumentó de forma significativa luego de 7 d para todos los tratamientos. A este tiempo, los tratamientos LED B y A mostraron los mayores incrementos ($\approx 30\%$) y no se diferenciaron entre sí (**Figura 8a**). Luego de 14 d la capacidad antioxidante se redujo a los niveles iniciales para el control y LED A, en tanto que decreció significativamente en LED B. En el caso del tratamiento LED BA, a los 14 d mantuvo niveles similares a los 7 d y presentó una mayor capacidad antioxidante respecto de los restantes tratamientos (**Figura 8a**). Si bien aquí los tratamientos de iluminación fueron de baja intensidad ($20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) lo cual no sería una condición estresante (Hasperué y col., 2016), es sabido que la baja temperatura durante el almacenamiento poscosecha puede generar una respuesta de incremento de los compuestos antioxidantes (Ayala-Zavala y col., 2004). Por otra parte, la capacidad antioxidante también se incrementó luego de 14 d de almacenamiento refrigerado de cilantro cultivado bajo redes foto-selectivas diseñadas para filtrar la luz de diferentes regiones espectrales del ultravioleta, visible y rojo lejano respecto del empleo de redes negras estándar (Buthelezi y col., 2016). En esta investigación, los autores concluyeron que la cantidad de luz o su calidad tienen un efecto significativo en la actividad antioxidante de cilantro.

3.2. Fenoles totales

Los principales constituyentes de los extractos de hojas de cilantro son quercetina y kaempferol, encontrándose presentes también derivados de ácidos fenólicos tales como ácido clorogénico, ferúlico y cumárico (Laribi y col., 2015). En el presente trabajo el contenido promedio de fenoles totales fue de 5000 mg eq. ácido gálico/ kg de peso seco (**Figura 8b**). A los 7 d de almacenamiento las muestras tratadas con luz LED A y BA presentaron un mayor contenido fenólico respecto del día inicial (**Figura 8b**). Luego de 14 d no se observaron diferencias significativas entre los contenidos para los diferentes tratamientos y sólo el tratamiento BA presentó un mayor valor respecto del día 0 (**Figura 8b**). Buthelezi y col. (2016) hallaron un incremento significativo de los compuestos fenólicos durante el almacenamiento de cilantro proveniente de plantas cultivadas bajo redes foto-selectivas. Según los autores la calidad de la luz que incide en el material vegetal, especialmente si se trata de radiación en el espectro del azul, determina la activación de ciertas rutas metabólicas responsables de la biosíntesis de fenoles. Por el contrario, Hasperué y col. (2016) hallaron que cuando se aplicó luz LED BA durante la poscosecha de brócoli no hubo diferencias respecto de los controles.

Finalmente se ha hallado que existe correlación entre el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante de cilantro (Nadeem y col., 2013; Wangensteen y col., 2004). Si bien aquí las diferencias no fueron significativas, las muestras tratadas con luz LED tuvieron una tendencia similar a la observada para la capacidad antioxidante (**Figura 8a**).

3.3. Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico se incrementó significativamente luego de 7d de almacenamiento tanto en las muestras tratadas como en el control. El tratamiento LED BA mostró además un notorio aumento en su concentración a los 14d (**Figura 8c**). La acción antioxidante de la vitamina C es bien conocida, reaccionando directamente con los radicales libres al donar electrones a estas especies (Thompson y col., 2010). En general el ácido ascórbico tiende a disminuir durante el almacenamiento de los vegetales, al ser una de las primeras barreras de defensa frente al estrés oxidativo. En este sentido, en trabajos previos se ha hallado una significativa disminución de su contenido cuando hojas de cilantro fueron conservadas a baja temperatura (Fang y col., 2016; Buthelezi y col., 2016). Por el contrario, en brócoli tratado con LED BA durante el almacenamiento, si bien se halló que las muestras redujeron su contenido de ácido ascórbico respecto del día inicial mostraron niveles ligeramente más altos que el control al final del periodo de almacenamiento (Hasperué y col., 2016). Cabe destacar que, en el presente trabajo, el mayor incremento del nivel de ácido ascórbico observado durante

el almacenamiento se dio también en LED BA, y estuvo en línea con la tendencia de aumento de la capacidad antioxidante (**Figura 8a**).

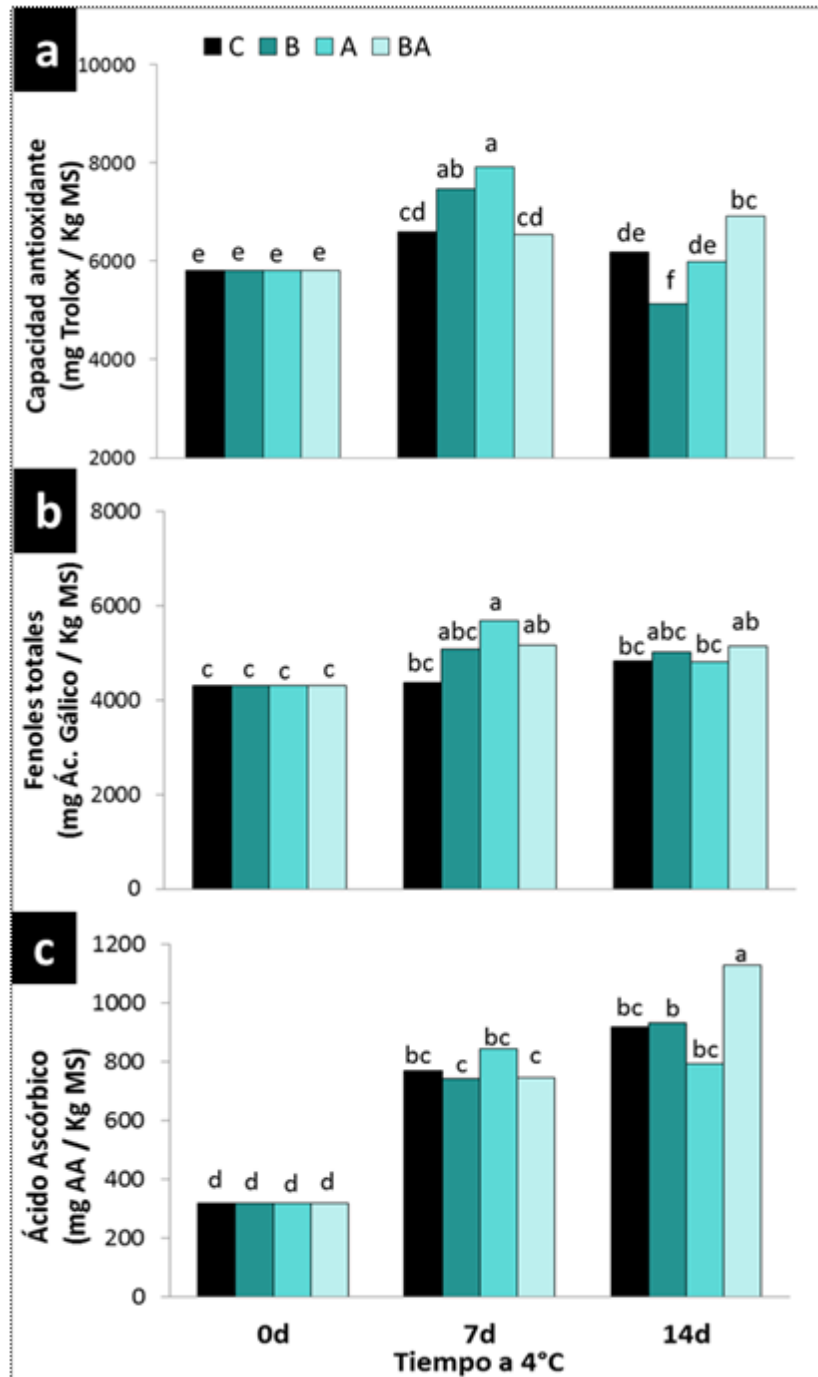


Figura 8. a) Capacidad antioxidante, b) contenido de fenoles totales y c) contenido de ácido ascórbico (AA) de cilantro almacenado a 4 °C por 14 d (C=control en oscuridad, B= LED blanco, A= LED azul, BA= LED blanco-azul).

3.4. Clorofilas y carotenoides totales

El principal síntoma visible de deterioro del cilantro después de la cosecha es el amarilleamiento de las hojas, proceso que se hace visible desde el momento en el que el contenido de clorofila comienza a disminuir. La intensidad de este proceso comúnmente se sigue mediante la medida de los parámetros b^* de color (intensidad de verde) y L^* (amarilleamiento) (Costa y col., 2006; Hasperué y col., 2011). En este ensayo los pigmentos presentes en las hojas de cilantro, clorofilas y carotenoides, mostraron un comportamiento similar durante el almacenamiento poscosecha con algunas excepciones (**Figura 9 a y b**). El tratamiento BA provocó la mayor disminución del contenido de clorofila a los 7d y se mantuvo sin cambios al finalizar el almacenamiento. Más allá de esto, en todos los tratamientos se redujo el nivel de pigmentos y culminaron con un contenido similar. Estos resultados no se condicen con el mayor grado de amarilleamiento de las muestras tratadas observado a partir del parámetro b^* de color (**Figura 7b**), lo cual pudo deberse a que la deshidratación de los tejidos haya distorsionado la percepción del color superficial influyendo en los valores numéricos obtenidos en la toma de color. Una reducción del contenido de clorofilas durante el almacenamiento también fue observada en hojas de cilantro obtenidas a partir de plantas cultivadas bajo redes foto-selectivas, aunque la disminución se dio en menor medida en aquellas tratadas con redes de color respecto de redes negras (Buthelezi y col., 2016). Según los autores esto se debe a una mejor adaptación de las plantas sometidas a diferentes intensidades de luz. En el presente trabajo, dado que los tratamientos se realizaron durante la poscosecha, el similar avance de la senescencia pudo haber determinado que no existieran diferencias en el contenido de pigmentos entre muestras tratadas con luz LED y control.

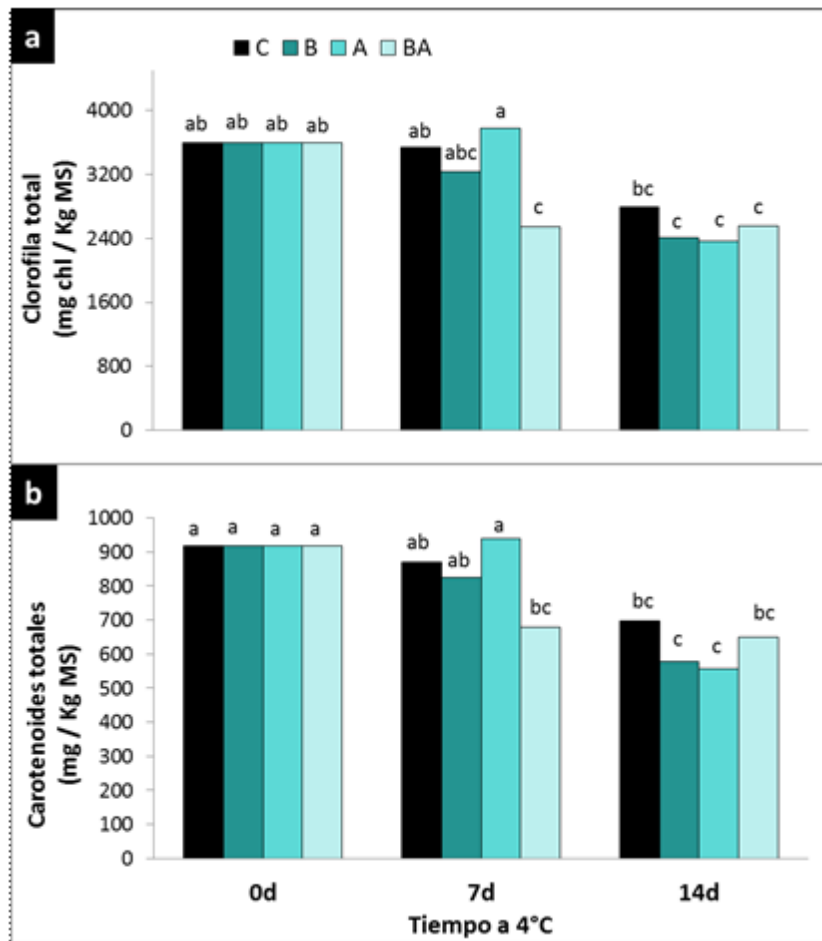


Figura 9. a) Clorofilas totales y **b)** contenido de carotenoides de cilantro almacenado a 4 °C por 14 d (C=control en oscuridad, B= LED blanco, A= LED azul, BA= LED blanco-azul).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES GENERALES

La alta susceptibilidad a la pérdida de agua de ciboulette determinó que, en las condiciones ensayadas, los tratamientos LED no resulten efectivos para la conservación de la calidad de esta especie. Futuros ensayos que combinen la aplicación de esta tecnología con otros tratamientos que limiten la deshidratación del producto, tal el caso de las atmósferas modificadas, podrían representar una estrategia factible de emplear durante el almacenamiento poscosecha de ciboulette.

Aunque el cilantro se puede cultivar durante todo el año, se procesa para aumentar su palatabilidad, rentabilidad y facilitar el comercio local e internacional. Actualmente, no existe información variada acerca de los tratamientos poscosecha para la conservación de la hierba, por lo que en el presente trabajo se buscó una alternativa complementaria a la refrigeración que mantuviera la apariencia y mejorara la calidad fitoquímica durante el almacenamiento. Con el tratamiento de luz LED BA se observaron los mayores niveles de antioxidantes y ácido ascórbico, lo que, si bien no logró detener el senescencia respecto del control el deterioro se mantuvo en niveles aceptables sin modificar la apariencia de las muestra y permitiendo obtener un producto más saludable en cuanto al poder antioxidante. Ante estos resultados, un factor a tener en cuenta en futuros experimentos es el adecuado control de la deshidratación del cilantro, dado que la pérdida de peso influye no sólo en la calidad visual sino también en el rendimiento en peso de la hierba. Como estrategia se podría plantear ajustar en tiempo real la humedad relativa ambiente o disminuir el tiempo de exposición de las muestras a la luz (duración del fotoperiodo), lo que permitiría seleccionar luego la longitud de onda más eficiente para la preservación de la calidad del producto, capitalizando además los beneficios del tratamiento LED sobre las propiedades antioxidantes de esta hierba aromática.

BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. (2006). Agroalimentos Argentinos II: Aromáticas. Acceso 2019 en: <http://www.fediap.com.ar/administracion/pdfs/AgroalimentosArgentino>
- Acerbi, M., Ruesta, M. (2005). Hierbas aromáticas y especias. Alimentos argentinos, 30, 25-28.
- Alferez, F., Liao, H., Burns, J. (2012). Light from different wavelengths affects expression of genes encoding phospholipases a2 and d in peel from mandarins at different maturation stages during postharvest storage. En VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956 (pp. 629-634).
- Arnao, M., Cano, A., Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. Food chemistry, 73(2), 239-244.
- Ayala, F., Echávarri, J., 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(7), 1333-1343.
- Ayala-Zavala, J., Wang, S., Wang, C., Gonzalez-Aguilar, G. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. LWT-Food Science and Technology 37, 687-695.
- Bhat, S., Kaushal, P., Kaur, M., Sharma, H. (2014). Coriander (*Coriandrum sativum* L.): Processing, nutritional and functional aspects. African Journal of Plant Science, 8(1), 25-33.
- Brewer, M. (2011). Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. Comprehensive reviews in food science and food safety, 10(4), 221-247.
- Buchanan-Wollaston, V., Page, T., Harrison, E., Breeze, E., Lim, P., Nam, H. (2005). Comparative transcriptome analysis reveals significant differences in gene expression and signalling pathways between developmental and dark/ starvation-induced senescence in arabidopsis. The Plant Journal, 42(4), 567-585.
- Büchert, A., Gómez Lobato, M., Villarreal, N., Civello, P., Martínez, G. (2011). Effect of visible light treatments on postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(2), 355-361.
- Buthelezi, M., Soundy, P., Jifon, J., Sivakumar, D. (2016). Spectral quality of photo-selective nets improves phytochemicals and aroma volatiles in coriander leaves (*Coriandrum sativum* L.) after postharvest storage. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 161, 328-334.
- Canetti, L., Lomaniec, E., Elkind, Y., Lers, A. (2002). Nuclease activities associated with dark-induced and natural leaf senescence in parsley. Plant science, 163(4), 873-880.
- Cantwell, M., Reid, M. (2006). Herbs: (Fresh Culinary). Recommendations for maintaining postharvest quality. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Veg/herbs>
- Cantwell, M., Thangaiah, A. (2010). Acceptable cooling delays for selected warm season vegetables and melons. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 934 (pp. 77-84).

- Castro, L. (2017). Caracterización de la Horticultura Argentina. Publicación de la cátedra de Horticultura y Floricultura de la Fac. de Cs. Agrarias y Forestales (UNLP).
- Chopra, R., Nayar, S., Chopra, I. (1992). Glossary of Indian medicinal plants. New Delhi, India: Council of Scientific and Industrial Research; p. 11–12.
- Costa, L., Vicente, A., Civello, P., Chaves, A., Martínez, G. A. (2006). UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, 39(2), 204-210.
- Dhakal, R., y Baek, K. (2014). Metabolic alternation in the accumulation of free amino acids and γ -aminobutyric acid in postharvest mature green tomatoes following irradiation with blue light. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(1), 36-41.
- Di Paola, M. (2006). Apuntes Agroeconómicos, 4 (5), Universidad de Buenos Aires.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. (2012). InfoStatversion 2012. Grupo InfoStat, FCA. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Divya, P., Puthusseri, B., Neelwarne, B. (2012). Carotenoid content, its stability during drying and the antioxidant activity of commercial coriander (*Coriandrum sativum* L.) varieties. *Food Research International*, 45(1), 342-350.
- Egert, M., Tevini, M. (2002). Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*, 48(1), 43-49.
- Fang, X., Chen, H., Gao, H., Yang, H., Li, Y., Mao, P., Jin, T. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on microbial growth, quality and enzymatic defence of sanitiser washed fresh coriander. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(12), 2654-2662.
- FAO. (2014). Food losses and waste in the context of sustainable food systems. Acceso en 2019: <http://www.fao.org/3/a-i3901e.pdf>
- Fernández-Lozano, J. (2012). La producción de hortalizas en Argentina. Secretaría de Comercio Interior de la Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. Acceso 2019 en: http://www.academia.edu/23974120/La_produccion_de_hortalizas_en_argentina
- Folta, K., Maruhnich, S. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.* 58, 3099–3111.
- García, M. (2012). Análisis de las transformaciones de la estructura agraria hortícola platense en los últimos 20 años (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales). Acceso 2019 en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18122>
- Gazula, A., Kleinhenz, M., Scheerens, J., Ling, P. (2007). Anthocyanin levels in nine lettuce (*Lactuca sativa*) cultivars: Influence of planting date and relations among analytic, instrumented, and visual assessments of color. *HortScience*, 42(2), 232-238.

- Gil, A., de la Fuente, E., Lenardis, A., López Pereira, M., Suárez, S., Bandoni, A., Ghersa, C. (2002). Coriander essential oil composition from two genotypes grown in different environmental conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2870-2877.
- Hao, X., Papadopoulos, A. (1999). Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of green house cucumber. *Scientia Horticulturae*, 80(1), 1-18.
- 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(1), 64-70.
- Hasperué, J., Guardianelli, L., Rodoni, L., Chaves, A., Martínez, G. (2016). Continuous white–blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 495-502.
- Hassan, F., Mahfouz, S. (2012). Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest senescence of coriander leaves during storage and its relation to antioxidant enzyme activity. *Scientia horticulturae*, 141, 69-75.
- INCHEM. Chemical safety information from intergovernmental organizations. Acceso 2019. En: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc160.htm>
- INDEC. (2008). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de la República Argentina. Censo Nacional Agropecuario. Acceso 2019. <https://www.indec.gob.ar/>
- Jiang, W., Sheng, Q., Zhou, X., Zhang, M., Liu, X. (2002). Regulation of detached coriander leaf senescence by 1-methylcyclopropene and ethylene. *Postharvest Biology and Technology*, 26(3), 339-345.
- Jing-Na Wei, Zheng-Hui Liu, Yun-Ping Zhao, Lin-Lin Zhao, Tian-Kai Xue, Qing-Kuo Lan (2019). Phytochemical and Bioactive Profile of *Coriandrum sativum* L. *Food Chemistry*, 2.
- Kader, A. (2002). Biología y tecnología poscosecha: Un panorama. En: *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas 3ra Edición*. Kader, A., Pelayo-Saldivar, C. (eds.). Capítulo 4. Universidad de California. Davis. pp. 43-54.
- Kader, A., Zagory, D., Kerbel, E., Wang, C. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 28(1), 1-30.
- Kalt, W. 2005. Effects of production y processing factors on major fruit y vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*. 70(1), R11-R19.
- Kaur, P., Kumar, A., Arora, S., Ghuman, B. (2006). Quality of dried coriander as affected by pretreatments and method of drying. *Eur. Food Res. Technol.* 223, 189–194.
- Kim, S., Hahn, E., Heo, J., y Paek, K. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, 101(1), 143-151.

- Kinoshita, T., Doi, M., Suetsugu, N., Kagawa, T., Wada, M., Shimazaki, K. (2001). Phot 1 and phot 2 mediate blue light regulation of stomatal opening. *Nature*, 414(6864), 656-660.
- Kohara, K., Kadomoto, R., Kozuka, H., Sakamoto, K., Hayata, Y. (2006). Deodorizing effect of coriander on the offensive odor of the porcine large intestine. *Food science and technology research*, 12(1), 38-42.
- Kopsell, D., Sams, C. (2013). Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short duration blue light from light emitting diodes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(1), 31-37.
- Kraftmakher, Y. (2015). Nobel Prize for blue LEDs. *European Journal of Physics*, 36(3), 035024.
- Kunze, M., Pracharoenwattana, I., Smith, S., Hartig, A. (2006). A central role for the peroxisomal membrane in glyoxylate cycle function. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1763(12), 1441-1452.
- Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M., & Bettaieb, T. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia*, 103, 9-26.
- Lester, G., Makus, D., Hodges, D. (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(5), 2980-2987.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.
- Lin, C. (2000). Plant blue-light receptors. *Trends in plant science*, 5(8), 337-342.
- Lin, K., Huang, M., Huang, W., Hsu, M., Yang, Z., Yang, C. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
- Li, Z., Li, P., & Liu, J. (2010). Effect of tomato internal structure on its mechanical properties and degree of mechanical damage. *African Journal of Biotechnology*, 9(12).
- Loaiza, J., Cantwell, M. (1997). Postharvest physiology and quality of cilantro (*Coriandrum sativum* L.). *HortScience*, 32(1), 104-107.
- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest biology and technology*, 14(3), 257-269.
- Ma, G., Zhang, L., Setiawan, C., 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.
- Martínez-Sánchez, A., Tudela, J., Luna, C., Allende, A., Gil, M. (2011). Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 34-42.

- Mitcham, E., Crisosto, C. Kader, A. (2001). Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Indicadores básicos en español. UC Davis. Acceso 2019 en: http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores
- Nadeem, M., Muhammad Anjum, F., Issa Khan, M., Tehseen, S., El-Ghorab, A., Iqbal Sultan, J. (2013). Nutritional and medicinal aspects of coriander (*Coriandrum sativum* L.) A review. *British Food Journal*, 115(5), 743-755.
- 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(3), 312-315.
- Oh, E., Kang, H., Yamaguchi, S., Park, J., Lee, D., Kamiya, Y., Choi, G. (2009). Genome-wide analysis of genes targeted by PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR 3-LIKE5 during seed germination in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 21(2), 403-419.
- Olarte, C., Sanz, S., Echávarri, J., 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(1), 402-411.
- Ortiz-Cruz, P. (1999). El cultivo dl cilantro *Coriandrum Sativum* L. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Departamento de Fitomejoramiento, 7-10.
- Parlevliet, D., Moheimani, N. (2014). Efficient conversion of solar energy to biomass and electricity. *Aquatic Biosystems*, 10(1), 1-9.
- Parra, A., Cameroni, M. (2009). Hierbas aromáticas y especias. *Dirección de Industria Alimentaria y Agroindustrias*. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación. Acceso 2019 en: <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos>
- Patil, G., Alm, V., Moe, R., Junttila, O. (2003). Interaction between phytochrome B and gibberellins in thermoperiodic responses of cucumber. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 642–647.
- Pimputkar, S., Speck, J., DenBaars, S., Nakamura, S. (2009). Prospects for LED lighting. *Nature Photonics*, 3(4), 180-182.
- Potter, T. (1996). Essential oil composition of cilantro. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 44, 1824–1826.
- Sala, G. (2012). Cultivo de Cebolla. Informe Técnico, INTA. Acceso en 2019. En: <http://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-cebolla>
- Samuolienė, G., Sirtautas, R., Brazaitytė, A., Duchovskis, P. (2012). LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food chemistry*, 134(3), 1494-1499.
- Santos, J., Herrero, M., Mendiola, J., Oliva-Teles, M., Ibáñez, E., Delerue-Matos, C., Oliveira, M. (2014). Fresh-cut aromatic herbs: Nutritional quality stability during shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 101-107.

- Sanz, S., Olarte, C., Ayala, F., Echávarri, J. (2009). Evolution of quality characteristics of minimally processed asparagus during storage in different lighting conditions. *Journal of food science*, 74(6), S296-S302.
- Sassi, M., Ruberti, I., Vernoux, T., Xu, J. (2013). Shedding light on auxin movement: light-regulation of polar auxin transport in the photocontrol of plant development. *Plant signaling & behavior*, 8(3), e23355.
- Schreiner, M., Huyskens-Keil, S. (2006). Phytochemicals in fruit and vegetables: health promotion and postharvest elicitors. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 25(3), 267-278.
- Sengupta, A., Ghosh, S., Bhattacharjee, S. (2004). Allium vegetables in cancer prevention: an overview. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 5(3), 237-245.
- Sharma, M., Sharma, R. (2012). Coriander. In *Handbook of herbs and spices* (pp. 216-249). Woodhead Publishing.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- Štajner, D., Čanadanović-Brunet, J., Pavlović, A. (2004). *Allium schoenoprasum* L., as a natural antioxidant. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(7), 522-524.
- Štajner, D., Popović, B., Čalić-Dragosavac, D., Malenčić, Đ., Zdravković-Korać, S. (2011). Comparative study on *Allium schoenoprasum* cultivated plant and *Allium schoenoprasum* tissue culture organs antioxidant status. *Phytotherapy Research*, 25(11), 1618-1622.
- Strassera, M. (2009). Caracterización del Cinturón hortícola platense y su vinculación con la sanidad en cultivos protegidos. *Jornadas sobre enfermedades y plagas en cultivos bajo cubierta CIDEFI- Fac. de Cs. Agrarias y Forestales (UNLP)*.
- Terfa, M., Poudel, M., Roro, A., Gislerød, H., Olsen, J., y Torre, S. (2012). Light emitting diodes with a high proportion of blue light affects external and internal quality parameters of pot roses differently than the traditional high pressure sodium lamp. *En VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956* (pp. 635-642).
- Thompson, J., Froese, C., Madey, E., Smith, M., Hong, Y. (1998). Lipid metabolism during plant senescence. *Progress in lipid research*, 37(2), 119-141.
- Thompson, J., Manore, M., Vaughan, L. (2010). *The Science of Nutrition*, 2nd edition, Chapter 10. pp. 49-95. Benjamin Cummings.
- Toivonen, P., Brummell, D. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1-14.
- Toledo, M., 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(1), 47-57.

- USDA. (2019). United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Acceso 2019 en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>
- Veitch, R., Lada, R., MacDonald, M. (2012). Effect of light emitting diodes (LEDs) on postharvest needle retention of balsam fir (*Abies balsamea* L.). *Journal of Applied Horticulture*, 14(1), 13-17.
- Viña, S., Cerimele, E. (2009). Quality changes in fresh chives (*Allium schoenoprasum* L.) during refrigerated storage. *Journal of food quality*, 32(6), 747-759.
- Wada, S., Ishida, H. (2009). Chloroplasts autophagy during senescence of individually darkened leaves. *Plant signaling & behavior*, 4(6), 565-567.
- Wangensteen, H., Samuelsen, A., Malterud, K. (2004). Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food chemistry*, 88(2), 293-2.
- Wojciechowska, R., Długosz-Grochowska, O., Kołton, A., Żupnik, M. (2015). Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles *Scientia Horticulturae*, 187, 80-86.
- Xu, H., Xu, Q., Li, F., Feng, Y., Qin, F., Fang, W. (2012). Applications of xerophyto-physiology in plant production—LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 148, 190-196.
- Zhan, L., Li, Y., Hu, J., Pang, L., Fan, H. (2012). Browning inhibition and quality preservation of fresh-cut romaine lettuce exposed to high intensity light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 14, 70-76.
- Zhan, L., Hu, J., Ai, Z., Pang, L., Li, Y., Zhu, M. (2013a). Light exposure during storage preserving soluble sugar and L-ascorbic acid content of minimally processed romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*). *Food chemistry*, 136(1), 273-278.
- Zhan, L., Hu, J., Lim, L., Pang, L., Li, Y., Shao, J. (2013b). Light exposure inhibiting tissue browning and improving antioxidant capacity of fresh-cut celery (*Apium graveolens* var. *dulce*). *Food chemistry*, 141(3), 2473-2478.

