



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

EFFECTO DE DIFERENTES ESPECTROS DE LUCES LED EN LA
CALIDAD Y VIDA ÚTIL DE HOJAS DE RÚCULA (*Eruca sativa* Mill)
TAMAÑO “BABY” EN LA POSTCOSECHA

Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias Agropecuarias

Ing. Agr. FERNANDO GABRIEL GÁLVEZ CERRUD

Director de Tesis

VÍCTOR HUGO ESCALONA CONTRERAS

Profesores consejeros

María Loreto Prat

Elías Abel Obreque Slier

2021

SANTIAGO, CHILE

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

EFFECTO DE DIFERENTES ESPECTROS DE LUCES LED EN LA CALIDAD Y VIDA
ÚTIL DE HOJAS DE RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) TAMAÑO “BABY” EN LA
POSTCOSECHA

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título
Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

FERNANDO GABRIEL GÁLVEZ CERRUD

Calificaciones	Calificaciones
(Memoria de Título)	(Tesis de Grado)

DIRECTOR DE TESIS/AFE

Nombre Víctor Hugo Escalona Contreras

Ingeniero Agrónomo, Doctor

PROFESORES CONSEJEROS

Nombre María Loreto Prat Del Rio

Ingeniero Agrónomo, Doctor

Nombre Elías Abel Obreque Slier

Ingeniero Agrónomo, Doctor

Santiago, Chile 2021

ÍNDICE

MARCO TEÓRICO	1
HIPÓTESIS	5
OBJETIVOS.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
1.1. Materiales	6
1.1.1. Ubicación	6
1.1.2. Material biológico	6
1.1.3. Cultivo y cosecha de la rúcula para los experimentos 1 y 2	6
1.1.4. Diseño experimental y estructura de los tratamientos para los experimentos 1 y 2	8
1.2. Análisis estadístico.....	8
1.3 Métodos.....	9
1.3.1. Metodología y aplicación de tratamientos	9
1.3.2. Instalación y características de las lámparas LED	12
1.3.3. Variables respuestas evaluadas.....	13
1.3.3.1. Parámetros físicos	14
1.3.3.3. Análisis microbiológico	17
RESULTADOS	18
1.4. Experimento 1	18
1.4.1. Caracterización inicial de parámetros físicos, químicos y microbiológica de hojas de rúcula	18
1.4.2. Parámetros Físicos	19
1.4.3. Parámetros de color.....	24
1.4.4. Parámetros químicos	28
DISCUSIÓN	34
CONCLUSIONES EXPERIMENTO 1	37
RESULTADOS	38
1.5. Experimento 2	38
1.5.1. Caracterización inicial de la materia prima.....	38

1.5.2. Parámetros físicos	39
1.5.3. Parámetros de color.....	43
1.5.4. Parámetros químicos	47
1.5.5. Análisis microbiológico	50
DISCUSIÓN	52
CONCLUSIONES ENSAYO 2	55
BIBLIOGRAFÍA CITADA	56
ANEXO	63
APENDICE I	65
APENDICE II.....	89

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos del experimento 1 aplicados sobre hojas de rúcula tamaño “baby” almacenadas en cámara frigorífica a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ por nueve días con fotoperiodos de 12 horas.	10
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos del experimento 2, aplicados sobre hojas de rúcula tamaño “baby” almacenadas en cámara frigorífica a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ por nueve días con fotoperiodos de 12 horas.	11
Cuadro 3. Escala de evaluación para la presencia de condensaciones dentro de las bolsas con hojas de rúcula, expuestas a diferentes espectro-condiciones de luces LED dentro de estantes.	14
Cuadro 4. Condiciones de incubación de los distintos microorganismos estudiados y medios de cultivos PCA: Agar de conteo de placa, ABRV: Agar de bilis y rojo violeta.	19
Cuadro 5. Caracterización física y químicas de la materia prima al momento de la cosecha.	18
Cuadro 6. Capacidad antioxidante total por FRAP y DPPH de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C .	29
Cuadro 7. Caracterización física y químicas de la materia prima al momento de la cosecha.	38
Cuadro 8. Fuerza máxima (N) en hojas de rúcula, expuestas a distintos espectro-condiciones de luz almacenadas durante 9 días a 4°C .	41
Cuadro 9. Capacidad antioxidante total por FRAP y DPPH de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas durante el cultivo de rúcula: siembra (A), almácigo (B), trasplante(C), plantación(D), mediciones de tamaño de hojas (E) y cosecha de las hojas de rúcula tamaño “baby” (F).	7
Figura 2. Etapas del procesamiento de las hojas de rúcula: selección y caracterización de las hojas (A), recepción en bandejas (B), lavado y sanitizado (C), centrifugado (D), escurrido (E), embolsado (F).	12
Figura 3. Estantes con lámparas LED dentro de la cámara frigorífica (A), mesa con lámparas de luz blanca (B), dimmers de regulación de intensidad y espectros (C), espectrómetro de luz Ligthing Passport, AsenseTek, (D).	13
Figura 4. Pérdida de peso en porcentaje (%) de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones.	19
Figura 5. Condensación severa dentro de bolsa expuesta a tratamientos con luz (A) y bolsas sin condensación en oscuridad (B).	20
Figura 6. Temperatura y humedad relativa promedio registrada por día, según los espectros-condiciones de luz aplicados en hojas de rúcula durante su conservación en una cámara a 4°C.	20
Figura 7. Fuerza máxima (N) en hojas de rúcula, expuestas a distintos espectros-condiciones de luz almacenadas durante 9 días a 4°C.	21
Figura 8. Porcentaje de daño celular en hojas de rúcula tratadas con distintos espectro-condiciones tras 9 días de almacenamiento a 4°C.	22
Figura 9. Micrografías (magnificadas a 400x) de células de hojas de rúculas al momento de la cosecha y tras 9 días de almacenamiento bajo diferentes espectros-condiciones de luz.	23
Figura 10. Evolución de la luminosidad del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	24
Figura 11. Evolución del tono de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.	25

Figura 12. Evolución de la saturación de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.	26
Figura 13. Evolución del color en distintos momentos y el efecto de los espectros de luz sobre hojas de rúcula tamaño baby almacenadas en refrigeración durante nueve días.	27
Figura 14. Concentración de fenoles totales de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	28
Figura 15. Concentración de clorofila total de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	30
Figura 16. Recuento de mesófilos de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	31
Figura 17. Recuento de enterobacterias de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	32
Figura 18. Recuento de psicófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	33
Figura 19. Pérdida de peso en porcentaje (%) de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	39
Figura 20. Temperatura y humedad relativa promedio registrada por día, según los espectros-condiciones de luz aplicados en hojas de rúcula durante su conservación en una cámara a 4°C.	40
Figura 21. Porcentaje de daño celular en hojas de rúcula tratadas con distintos espectro-condiciones tras 9 días de almacenamiento a 4°C.	41
Figura 22. Micrografías (magnificadas a 400x) de células de hojas de rúculas al momento de la cosecha y tras 9 días de almacenamiento bajo diferentes espectros-condiciones de luz.	42
Figura 23. Evolución de la luminosidad del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	43

Figura 24. Evolución del tono del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	44
Figura 25. Evolución de la saturación del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	45
Figura 26. Evolución del color en distintos momentos y el efecto de los distintos espectros-condiciones de luz sobre hojas de rúcula tamaño baby almacenadas en refrigeración por nueve días.	46
Figura 27. Concentración de fenoles totales de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	47
Figura 28. Concentración de clorofila total de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	49
Figura 29. Recuento de mesófilos de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	50
Figura 30. Recuento de bacterias psicrófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.	51

RESUMEN

Actualmente se está estudiando el uso de luz artificial controlada durante la conservación postcosecha de productos hortofrutícolas. Hasta ahora se ha visto que la aplicación postcosecha de luz ha mostrado resultados promisorios en distintas especies. No obstante, existen pocos estudios sobre este tema realizados en hortalizas de hojas y especialmente en rúcula.

El presente trabajo evaluó a través de dos experimentos el efecto de la aplicación de distintos espectros de luces LED (rojo, azul y verde: primer experimento) y la combinación (rojo/azul, rojo/verde y azul verde: segundo experimento), en la calidad y vida útil de hojas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) tamaño baby conservadas en bolsas plásticas. Ambos experimentos se realizaron bajo un diseño completamente al azar con estructura de parcelas divididas (DCAPD), siendo los factores espectros-condiciones de luz (seis niveles) y el tiempo de almacenaje en días (tres niveles). Se evaluaron 18 tratamientos producto de la combinación de los niveles de los factores evaluados. Se definió como unidad experimental una bolsa con 20 g de hojas. Las hojas de rúculas se conservaron durante nueve días, en una cámara a 4°C. Se evaluaron la pérdida de peso, color, textura de las hojas, daño celular, presencia de condensación, capacidad antioxidante, concentraciones de fenoles totales, clorofila total y recuentos microbiológicos.

En el primer experimento se redujo el porcentaje de pérdida de peso durante los nueve días de almacenamiento cuando las hojas fueron tratadas con luz verde en comparación con las tratadas con luz roja, azul y blanca continua; además se detectó condensaciones dentro de las bolsas en las hojas tratadas con las lámparas LEDs independiente del color. La luminosidad del color, concentración de fenoles totales y de clorofila se mantuvo durante gran parte del almacenamiento.

En el segundo experimento hubo una pérdida de peso significativa con la combinación de los espectros de luces afectando el color de las hojas de rúcula a partir del día 6. Dependiendo del espectro de luz aplicado hubo efectos variables sobre los parámetros físicos, químicos y en el crecimiento microbiológicos de las hojas durante el almacenamiento refrigerado. Dentro de los resultados más promisorios sería el uso de luz verde para reducir las pérdidas de peso en hortalizas de hojas como la rúcula durante su conservación en góndola.

PALABRAS CLAVE

Iluminación artificial, hortalizas de hoja, conservación, compuestos antioxidantes.

ABSTRACT

At present, controlled artificial lighting during the post-harvest preservation of fruit and vegetable products which has shown promising results on several species is being studied. However, there is a lack of research on these issues conducted on green leaves, especially on rocket leaves.

This work evaluated through two experiments the effect of the application of different light spectrum of red, blue, or green (first experiment) and the combination red\blue, red\green or blue\green (second experiment, over quality and shelf life a baby rocket leaves (*Eruca sativa* mill) packed in plastic bags. Both experiments were carried out under a completely randomized split-plot design structure taking into consideration two factors: light spectrum, condition (six level) and shelf life (three levels) It was evaluated eighteen treatments resulting from the factor levels were evaluated. The experimental unit was a plastic bag of 20 g of leaves. Rocket leaves were stored for nine days at 4°C in a cold room. Weight loss, gas atmospheres inside the bags, color parameters, texture, cellular damage, condensation, antioxidant capacity, total phenol and total chlorophyll concentrations, and microbiological growth were evaluated.

In the first experiment, weight loss was reduced after nine day of storage under green LED light. In contrast red, blue, and continuous white light treatments showed condensation inside the bags. Luminosity, total phenol, and chlorophyll concentrations remained during 9 days at 4°C.

In the second experiment, a significant weight loss was found under light combinations affecting color of the leaves after 6 days of storage. Depending on light spectrum applied on rocket leaves, physical, chemical and microbiological parameters showed different changes after the cold storage. One promising result would be the use of green light to reduce weight loss on rocket leaves during retail storage.

Key words: Artificial illumination, green leaves, storage, antioxidant capacity.

DEDICATORIA

Antes de plasmar mis palabras de dedicatoria, hago manifiesto mi infinito agradecimiento a Yeshúa por todos los logros que se me han permitido alcanzar en esta vida terrenal. El presente trabajo lo dedico y doy mis agradecimientos a mis padres, la señora Ildaura Cerrud de Gálvez y a don Fernando Gálvez, quienes me han aconsejado y apoyado en estos años de vida. Además, agradezco al profesor y amigo don Víctor Hugo Escalona Contreras, por todos sus consejos y apoyo académico y personal, brindado durante mi estadía en Chile, también agradecer a los profesores María Loreto Prat del Río, Elías Abel Obreque Slier y María de la Luz Hurtado por sus atinadas sugerencias en la elaboración y ejecución del presente trabajo. También un especial agradecimiento a doña María Luisa Tapia Figueras, quien fue de gran apoyo desde los inicios de este proyecto. No puedo olvidarme de todo el equipo técnico del CEPOC quienes brindaron su apoyo en este trabajo, así como también a los ingenieros Jorge Guerra, Elizabeth Granados, Andrea Jacobo, Yolanda Herrera (México), además extendiendo mis agradecimientos a los ingenieros Ixi Espinosa, José Binns, Eldis Barnes, Luis Salazar, Ana Rodríguez y Manuel Degracia (Panamá) quienes también sirvieron de apoyo y gestos de ánimo en culminar este documento.

MARCO TEÓRICO

Importancia del manejo postcosecha de hortalizas

A pesar de que en el mundo produce suficientes alimentos, erradicar el hambre sigue siendo uno de los más grandes desafíos para la humanidad. Se estima que alrededor de 1/3 de los alimentos se pierden antes de ser consumidos, lo que se aproximaría a 1.300 millones de toneladas al año (Kenard, 2019). Estas pérdidas ocurren en distintas fases de la cadena de suministro, como lo son las etapas de producción, manejo y almacenamiento, procesamiento, distribución y comercialización. Los productos hortícolas luego de ser cosechados continúan metabólicamente activos, lo que significa que los procesos fisiológicos no se detienen, por lo que controlar la actividad metabólica permite retardar la maduración y senescencia para mantener la calidad y prolongar su vida útil (Brasil y Siddiqui., 2018). Para preservar la calidad de los productos frescos se hace necesario la aplicación de distintas herramientas como la refrigeración, control de la humedad relativa (HR) y modificación de las atmósferas (D'Sousa *et al.*, 2016).

Importancia del consumo de hortalizas

El consumo de distintos tipos hortalizas frescas forma parte fundamental en la dieta del ser humano supliéndola de cantidades importantes de nutrientes esenciales como vitaminas y minerales. Además, estos alimentos aportan fibra, hidratos de carbono y fitoquímicos derivados de metabolitos secundarios de los propios vegetales que tienen actividad biológica de gran capacidad antioxidante, antiinflamatoria, antibacterial y antiviral, siendo capaces de reducir las especies reactivas de oxígeno responsables de muchas enfermedades humanas, dicho esto la ingesta regular de hortalizas proporcionaría efectos beneficiosos a la salud del consumidor (Kakade *et al.*, 2015; Ma *et al.*, 2017).

Hortalizas mínimamente procesadas en fresco (MPF)

Los productos MPF han ganado cada vez más importancia en la industria agroalimentaria, debido a la preferencia de la población ya que resultan ser oportunos y convenientes al momento de reducir espacio y tiempo en su preparación unido al interés por llevar una alimentación saludable (Ma *et al.*, 2017). El concepto de hortalizas MPF se refiere a aquellas que para su elaboración implican procesos simples como lavado, pelado, cortado, triturado, desinfectado y envasado; es importante considerar, que estas etapas del proceso provocan daños a los tejidos vegetales, lo que provoca un aumento en la velocidad de deterioro de los productos, limitando su vida útil a unos pocos días (Cantwell y Suslow, 2002; Yildiz y Wiley, 2017).

Diodo Emisor de Luz (LED)

A través de los años se han desarrollado diferentes tipos de emisores de luz artificial, tales como las lámparas fluorescentes (LF), haluro metálico (HM), alta intensidad de descarga (AID), sodio de alta presión (HPS) y las de diodo emisor de luz (LED). Estas dos últimas son

las que actualmente tienen mayor uso debido a su alta eficiencia energética en comparación con los otros tipos de lámparas y por proveer a la planta un espectro preciso para su crecimiento (Hernández, 2013; Kozai *et al.*, 2016 y Ruffykiri, 2018). La primera vez que se reportó el diodo emisor de luz (LED) fue a principios de los años 1900, por el ingeniero e investigador británico Henry Joseph Round; sin embargo, el primer uso práctico fue inventado por Nick Holonyak, Jr., en 1962 mientras estaba en la General Electric Company (Singh, 2009). Los diodos emisores de luz consisten en un chip semiconductor situado sobre una superficie reflectante, la luz se produce cuando la electricidad pasa por el chip semiconductor, donde la longitud de onda de la luz producida (color) depende de la composición o material del chip semiconductor (Opel *et al.*, 2015). Entre las características más relevantes de las lámparas LED se puede señalar lo siguiente: tienen una conversión eficiente de energía a luz, su consumo energético es bajo, son más resistentes en su manejo, el espectro puede ser regulado de acuerdo con los colores deseados, tiene un periodo de vida largo, no contienen materiales peligrosos (mercurio) y tienen una baja emisión de calor (Kozai *et al.*, 2016).

Aplicación de luces LED en la agricultura y postcosecha

En las últimas décadas la producción de alimentos ha evolucionado en gran medida siendo uno de los aspectos más novedosos la incorporación de la iluminación artificial controlada en la agricultura con el fin de mejorar la calidad de los productos agrícolas. Esta tecnología está demostrando efectos sobre la producción incrementando la materia seca, acelerando el desarrollo fisiológico e incluso favoreciendo la reducción de incidencia de pestes y enfermedades (Gómez y Izoo, 2018). Además, se han reportado efectos sobre los parámetros fisiológicos como aumento y/o reducción de la tasa respiratoria, el retraso de la senescencia durante la etapa postcosecha y también cambios en la concentración de compuestos bioactivos en los vegetales durante su almacenamiento (Hasan *et al.*, 2017; Zhen *et al.*, 2017). En este sentido, se evidencia el interés por diversos autores en la exploración de la iluminación artificial como herramienta complementaria durante la conservación postcosecha de diferentes especies hortícolas como lechugas, frutilla, brócoli, albahaca, espinacas entre otros (Kasim y Kasim, 2016; Xu *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2013; Jin *et al.*, 2015).

Efecto de las luces LED en componentes bioquímicos en materiales vegetales

La calidad de la luz tiene efectos sobre la síntesis y acumulación de metabolitos primarios y secundarios en las plantas como: azúcares, almidón, vitamina C, proteínas solubles y polifenoles (Hasan *et al.*, 2017); sin embargo, en la actualidad no se conocen con claridad los mecanismos biológicos de cómo la luz induce la síntesis de los distintos metabolitos (Darko *et al.*, 2014; D'Souza *et al.*, 2015).

Colquhoun *et al.* (2013) trataron en postcosecha frutos de tomates con luces LED a una intensidad de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de colores blanco, azul (455 nm), roja (668 nm), roja lejana (755 nm) y en oscuridad durante 10 días a $22 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Finalizado este periodo los autores encontraron un aumento significativo en la emisión de los compuestos volátiles cis-3-hexenal, cis-3-Hexen-1-ol, (asociados con el sabor, proporcionando una percepción de

dulzura) bajo luz roja lejana, en comparación a los otros espectros de luz. Los autores hipotizaron que la luz actuaría impulsando procesos involucrados en el aumento o disminución de compuestos vía criptocromos y fitocromos. En otro estudio, Routray *et al.*, (2018) encontraron que la aplicación de luz LED azul por 12 horas en hojas de arándanos almacenadas entre 20-24°C incrementó la concentración de fenoles totales en comparación con hojas bajo luz LED roja y aquellas no tratadas con luz. Sin embargo, en este mismo estudio se observó que cuando el tiempo de exposición fue de 24 y 48 h disminuyó la concentración de fenoles totales.

Toledo *et al.* (2003) evaluaron el efecto de luz blanca fluorescente ($20\text{-}25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y oscuridad en plantas de espinacas cosechadas enteras (con raíz), las cuales fueron cubiertas con plástico de polipropileno y asperjadas con agua diariamente para reducir la deshidratación y almacenadas a 8°C por 24 días. Los resultados de este estudio mostraron una disminución leve y prolongada en las concentraciones de ácido ascórbico. Estos autores señalan que las muestras en luz tuvieron mayores concentraciones de carbohidratos solubles respecto a aquellas almacenadas en oscuridad, sugiriendo que la luz estimuló la biosíntesis de ácido ascórbico y producción de carbohidratos solubles.

Jin *et al.*, 2015 probaron el efecto de luz artificial fluorescente 400-700 nm ($12\text{-}13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 12 horas) y luz verde 520 nm ($12\text{-}13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 12 horas) en la vida útil de cabezas de brocoli cultivar “Chaoda No.1”, almacenadas 25 ± 1 °C y 95% HR durante dos días; encontrando que las cabezas de brocoli expuestas a luz verde tuvieron casi tres veces mayor vida útil respecto a las del tratamiento control (oscuridad), según estos autores estos resultados se debe a que la luz aplicada sobre vegetales verde retarda la degradación de la clorofila.

La rúcula y sus limitaciones en su conservación

La rúcula considera especies que incluyen dos géneros *Eruca* y *Diplotaxis*, nativas de los países que rodean el Mar Mediterráneo de los continentes de Europa, Asia y África. Ambas especies son pertenecientes a la familia botánica de las *Brassicaceas* (Bell y Wagstaff, 2019). Estas especies se caracterizan por tener compuestos fitoquímicos como los fenoles y glucosilatos promotores de la salud y que le confieren características de pungencia (picor) y amargor (Elsadek, 2014 y Bell, 2016). La rúcula es consumida sola o como componente para la elaboración de ensaladas mixtas y recientemente se está utilizando como ingrediente en las pizzas; además, sus semillas son utilizadas para la extracción de aceites (Doležalová *et al.*, 2013).

Las limitantes que presentan las hojas de rúcula para mantener su calidad y extender su vida útil son el marchitamiento y pérdida de color verde (Gutiérrez *et al.*, 2015). Pese a las numerosas investigaciones respecto a la diversidad y composición química de la rúcula aún faltan estudios sobre los atributos sensoriales y químicos bajo diferentes condiciones de procesamiento y almacenamiento (Degl’innocenti *et al.*, 2008, Kanwal *et al.*, 2014, Radziejewska-Kubzdela *et al.*, 2019, Bell y Wagstaff., 2019). Además, no solo la rúcula sino también los demás productos de IV gama, gran parte de su vida en anaquel se lleva a cabo en las góndolas de supermercado donde están expuestas durante el día a luz blanca artificial y luego del cierre del lugar de expendio las hortalizas quedan bajo un periodo de oscuridad.

Por lo tanto, se hace necesaria la investigación sobre las condiciones de comercialización en estantería para rúcula con el propósito de conocer los cambios que le ocurren en su calidad y vida útil al aplicar distintos espectros de luz visible.

HIPÓTESIS

El uso de diferentes espectros de luces LED prolongan la vida postcosecha de hojas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) tamaño “baby” envasadas en bolsas plásticas bajo refrigeración.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de distintos espectros y condiciones de luz (roja, azul, verde, blanca y oscuridad) utilizando lámparas LED en hojas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) tamaño “baby” envasadas en bolsas plásticas y mantenidas en refrigeración.

Objetivos específicos

Evaluar la respuesta de los espectros y condiciones de luz roja, azul, verde, blanca y oscuridad y sus combinaciones utilizando lámparas LED, en la vida útil postcosecha de hojas de rúcula tamaño “baby” conservadas en bolsas plásticas bajo refrigeración.

Evaluar el efecto de los espectros-condiciones de luz roja, azul, verde, blanca y oscuridad y sus combinaciones sobre la calidad funcional de hojas de rúcula envasadas en bolsas plásticas bajo refrigeración.

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Materiales

1.1.1. Ubicación

Los estudios se realizaron en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile ubicada en Ave. Santa Rosa 1135 (Santiago, Chile) localizada geográficamente en las coordenadas 32°40' latitud sur y 70°32' longitud oeste, con una altitud de 625 m.s.n.m.

1.1.2. Material biológico

Se utilizaron hojas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) de tamaño “baby”, las cuales fueron cultivadas en un sistema de raíz flotante en un ambiente forzado dentro de un invernadero plástico (Figura 1).

1.1.3. Cultivo y cosecha de la rúcula para los experimentos 1 y 2

El primer experimento se inició con la elaboración del almácigo el 18 de abril de 2019; para esto se utilizaron bandejas semirrígidas de plástico de 168 alveolos. Para el sustrato se utilizó una mezcla homogenizada de turba con perlita previamente hidratadas en proporción de 50% de turba (v/v) y 50% perlita (v/v) y se colocaron dos semillas por alveolo a 0,5 cm de profundidad (Figura 1, A). Luego las bandejas fueron humedecidas y colocadas en una mesa hasta alcanzar la emergencia de la mayoría de las plántulas; esto ocurrió entre los días 4-6 después de la siembra (Figura 1, B). Después de emergidas las plántulas se regaron por capilaridad cada 3 días con una solución nutritiva completa diluida al 50%. Se realizó el raleo de plántulas cuando alcanzaron dos hojas verdaderas expandidas utilizando una tijera desinfectada con alcohol etílico 70%. El trasplante se realizó entre los días 32 y 33 luego de la emergencia, cuando las plántulas alcanzaron una longitud de raíz de 8,0 cm para garantizar el contacto con la solución nutritiva y un mínimo tres hojas verdaderas expandidas (Figura 1, C).

El trasplante se realizó a un sistema hidropónico recirculante en raíz flotante sobre una mesa de metal de 7,0 m de largo y 1,5 m de ancho, profundidad de 0,15 m y una altura de la mesa de 1,20 m. Como soporte de las plantas se emplearon láminas de poliestireno extendido como base. Con el fin de alcanzar hojas de tamaño de 5 a 12 cm tipo “baby” se estableció una distancia de siembra de 10 cm entre plantas en un arreglo topológico de tresbolillo. La solución nutritiva utilizada fue diseñada por Tapia y Toro (2008), para el cultivo de hortalizas en estación de otoño-invierno (Anexo I, Cuadro 1).

Durante el periodo de cultivo se midieron diariamente los parámetros ambientales de temperatura (°C) y humedad relativa. Respecto a la solución nutritiva se midió pH, conductividad eléctrica (EC), oxígeno disuelto y/o saturación.

Se monitoreó el tamaño de las hojas para realizar la cosecha, la cual se realizó el 24 de junio de 2019 (60 días después de la emergencia de las plántulas), utilizando guantes y tijeras previamente desinfectadas con una solución de alcohol al 80%, al mismo tiempo se seleccionaron hojas sin daño físico o alguna alteración atípica de la especie (Figura 1, D, E y F).

El segundo experimento se ejecutó siguiendo los procedimientos descritos en el experimento 1. La siembra de las semillas se realizó el 7 de junio de 2019 y las plántulas se trasplantaron al sistema de raíz flotante el 15 de julio. Las plantas se cosecharon el 13 de agosto, 67 días después de la siembra.

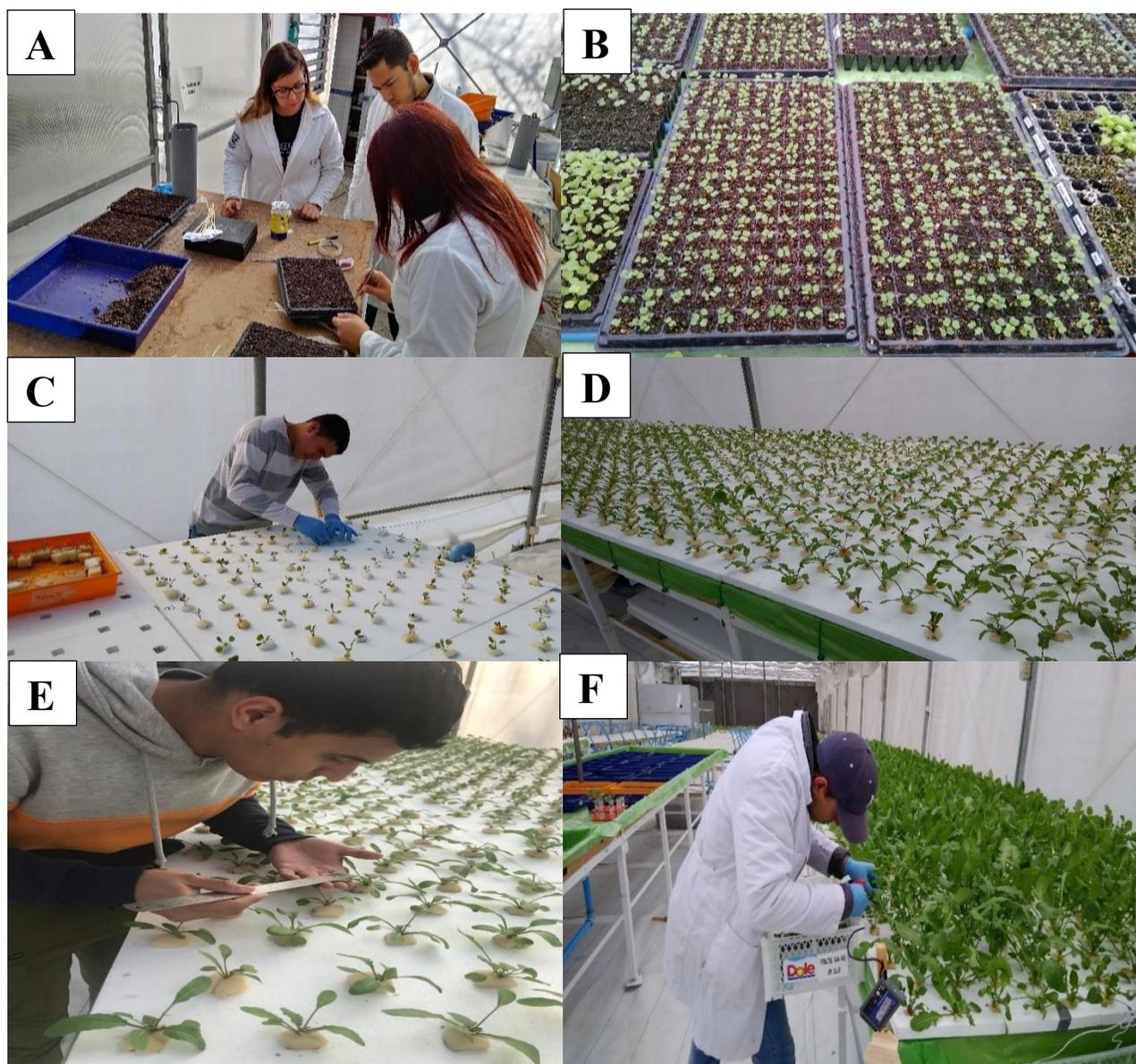


Figura 1. Etapas durante el cultivo de rúcula: siembra (A), almácigo (B), trasplante(C), plantación(D), mediciones de tamaño de hojas (E) y cosecha de las hojas de rúcula tamaño “baby” (F).

1.1.4. Diseño experimental y estructura de los tratamientos para los experimentos 1 y 2

Los experimentos se realizaron de manera independiente empleando un diseño completamente aleatorizado con estructura de parcelas divididas (DCAPD), donde los factores evaluados fueron los espectros-condiciones de luz con seis niveles (Factor A) y el tiempo de almacenaje en días con tres niveles (Factor B) respectivamente. Cuando se encontró una interacción significativa entre los factores éstos fueron analizados de manera independiente.

De la combinación de los niveles de cada factor se obtuvo un total de dieciocho tratamientos (Cuadro 1). Para los parámetros físicas y químicos se evaluaron cuatro repeticiones ($n=4$) por tratamiento.

Respecto al análisis de cortes celulares se emplearon 3 repeticiones por tratamiento tomadas del día 9 de almacenamiento. También para los parámetros de recuentos microbiológicos se emplearon 3 repeticiones por tratamiento los que se evaluaron los días 3, 6 y 9 de almacenamiento. Cada repetición correspondió a una bolsa con 20 g (aprox. 19-21 hojas) de rúcula.

Además, se realizó una evaluación inicial de la materia prima tomando 4 muestras (repeticiones) al azar de 20 g para realizar una caracterización de parámetros físicos, químicos y microbiológico al día 0 antes del almacenamiento. Esta evaluación tuvo por objetivo tener un valor de referencia del estado de la materia prima al momento de la cosecha; este procedimiento se realizó para los experimentos 1 y 2.

1.2. Análisis estadístico

Modelo Matemático Estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + T_j + (LT)_{ij} + P_k + E_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variable respuesta.

μ = Media general de las observaciones

L_i = i -ésimo efecto que produce el factor espectros-condiciones de luz

T_j = j -ésimo efecto que produce el factor tiempo de almacenaje

$(LT)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el nivel i del factor espectros-condiciones de luz con el nivel j de Tiempo de almacenaje

P_k = efecto de la parcela

E_{ijk} = error asociado a ijk -ésima observación.

El análisis de los datos se realizó mediante modelos generales lineales y mixtos. En el caso de interacciones o donde los factores actuaran de manera independiente, se realizó la prueba de comparación múltiple de Fisher, con el programa estadístico INFOSAT.

1.3 Métodos

1.3.1. Metodología y aplicación de tratamientos

El procesamiento y embolsado de la materia prima se realizó de la siguiente manera: una vez cosechadas las hojas de rúcula se colocaron en bandejas plásticas y fueron transportadas a la cámara de proceso a temperatura de $10^{\circ}\text{C} \pm 1$ y 85 % HR, ubicada a 50 m del invernadero de cultivo. Al momento de la cosecha las hojas se cubrieron con una lámina de plástico limpia para evitar la deshidratación (Figura 2, B). Las hojas fueron lavadas y sanitizadas con una solución de 100 mg/ L de hipoclorito de sodio (NaClO) con pH 7,0 -7,3 a 5°C durante dos minutos dentro de un recipiente de plástico con 20 L de agua potable. Posteriormente se enjuagaron con agua potable por un minuto para eliminar restos de la solución sanitizante (Figura 2, C y D). Seguidamente se eliminó el exceso de agua mediante un centrifugado manual y luego se colocaron las hojas sobre mallas de acero inoxidable con papel absorbente por 3 min para dejar escurrir el agua excedente (Figura 2, E). Para el envasado se utilizaron bolsas plásticas de poliolefina (D-940, Cryovac ® Sealed Air Corporation, Chile) de 27 x 15 cm y 0,03 mm de espesor (permeabilidad: $6.000\text{ mL O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ y $19.000\text{ mL CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ a 23°C y 1 atm). En cada bolsa se colocaron 20 g (19-21 unidades) de hojas las cuales fueron dispuestas tratando de evitar traslapes entre ellas. Posteriormente las bolsas fueron selladas con una termoselladora (FR400, Plastic Film Sealer, China) y almacenadas en una cámara a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ a 95-98 % HR durante nueve días (Figura 2, E).

1.3.1.1. Tratamientos del experimento 1. Los tratamientos con luz se aplicaron por un periodo de doce horas continuas dentro de estantes que contaron con lámparas que emitían los espectros rojo, verde, azul y blanco. Posteriormente las bolsas fueron colocadas sobre una mesa iluminada con lámparas de luz LED blanca por doce horas continuas. Esta alternancia de combinaciones de luces de color y luz blanca se mantuvo durante 9 día con el fin de simular las condiciones de comercialización de estos productos en góndola de supermercado. Adicionalmente se consideró un tratamiento de 12 horas de luz blanca y 12 horas de oscuridad para simular la situación comercial real. También se probó un tratamiento de 24 h de oscuridad (12 + 12h oscuridad) para simular las condiciones de almacenamiento en cámara de almacenamiento (Cuadro 1). Los tratamientos se aplicaron en el interior de una cámara a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ a 95-98 % HR. Las evaluaciones se realizaron a los 3, 6, y 9 días de almacenamiento.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos del experimento 1 aplicados sobre hojas de rúcula tamaño “baby” almacenadas en cámara frigorífica a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ por nueve días con fotoperiodos de 12 horas.

	Tratamientos ^z	Factor (A) Espectros- condiciones de luz	Factor (B) Tiempo de almacenaje en días	Fotoperiodo en cámara de luz	Fotoperiodo en Góndola
1	R+B	luz roja + blanca	3	12 h	12 h
2	A+B	luz azul + blanca	3	12 h	12 h
3	V+B	luz verde + blanca	3	12 h	12 h
4	B+B	luz blanca + blanca	3	12 h	12 h
5	B+O	luz blanca + oscuridad	3	12 h	12 h(oscuridad)
6	O+O	oscuridad + oscuridad	3	12 h	12 h
7	R+B	luz roja + blanca	6	12 h	12 h
8	A+B	luz azul + blanca	6	12 h	12 h
9	V+B	luz verde + blanca	6	12 h	12 h
10	B+B	luz blanca + blanca	6	12 h	12 h
11	B+O	luz blanca + oscuridad	6	12 h	12 h(oscuridad)
12	O+O	oscuridad + oscuridad	6	12 h	12 h
13	R+B	luz roja + blanca	9	12 h	12 h
14	A+B	luz azul + blanca	9	12 h	12 h
15	V+B	luz verde + blanca	9	12 h	12 h
16	B+B	luz blanca + blanca	9	12 h	12 h
17	B+O	luz blanca + oscuridad	9	12 h	12 h(oscuridad)
18	O+O	oscuridad + oscuridad	9	12 h	12 h

^zEl total de tratamientos corresponde a la combinación de cada nivel y factor.

1.3.1.2. Tratamientos experimento 2. Se evaluaron de igual forma que en el experimento 1, dieciocho tratamientos, producto de la combinación los factores espectros-condiciones de luz (seis niveles) y tiempo de almacenaje en días (tres niveles). En este experimento los tratamientos fueron la combinación de los espectros rojo, azul y verde como se muestra en el Cuadro 2. También fueron incluidos los tratamientos luz blanca + oscuridad y oscuridad + oscuridad.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos del experimento 2, aplicados sobre hojas de rúcula tamaño “baby” almacenadas en cámara frigorífica a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ por nueve días con fotoperiodos de 12 horas.

Tratamientos ^z	Factor (A) Espectros- condiciones de luz	Factor (B) Tiempo de almacenaje	Fotoperiodo en cámara de luz	Fotoperiodo en góndola	
1	R+A+B	luz roja + azul + blanca	3	12 h	12 h
2	R+V+B	luz roja + verde +blanca	3	12 h	12 h
3	A+V+B	luz azul + verde + blanca	3	12 h	12 h
4	B+B	luz blanca + blanca	3	12 h	12 h
5	B+O	luz blanca + oscuridad	3	12 h	12 h (oscuridad)
6	O+O	oscuridad + oscuridad	3	12 h	12 h
7	R+A+B	luz roja + azul + blanca	6	12 h	12 h
8	R+V+B	luz roja + verde + blanca	6	12 h	12 h
9	A+V+B	luz azul + verde + blanca	6	12 h	12 h
10	B+B	luz blanca + blanca	6	12 h	12 h
11	B+O	luz blanca + oscuridad	6	12 h	12 h (oscuridad)
12	O+O	oscuridad + oscuridad	6	12 h	12 h
13	R+A+B	luz roja + azul + blanca	9	12 h	12 h
14	R+V+B	luz roja + verde + blanca	9	12 h	12 h
15	A+V+B	luz azul + verde + blanca	9	12 h	12 h
16	B+B	luz blanca + blanca	9	12 h	12 h
17	B+O	luz blanca + oscuridad	9	12 h	12 h (oscuridad)
18	O+O	oscuridad + oscuridad	9	12 h	12 h

^zEl total de tratamientos corresponden a la combinación de cada nivel y factor.

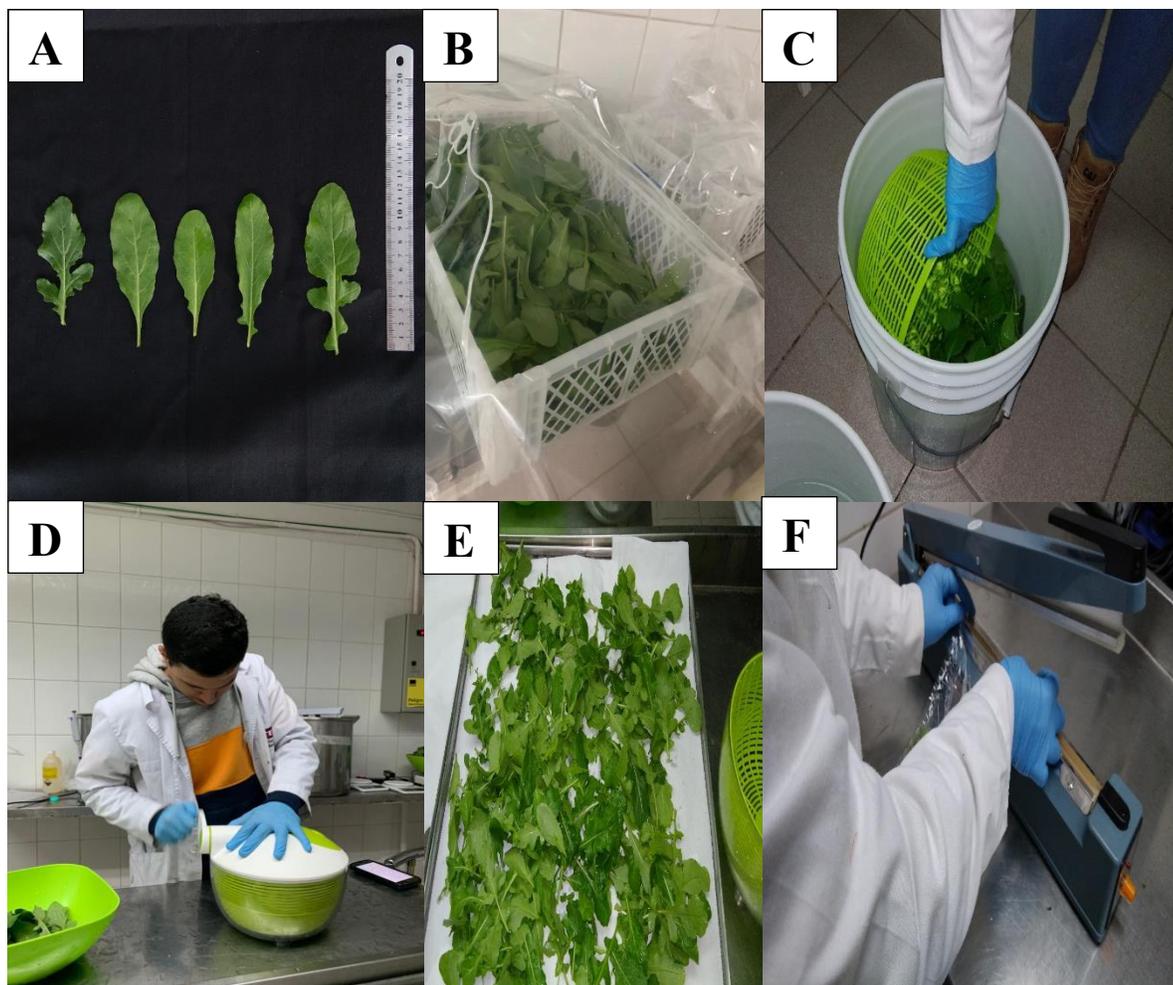


Figura 2. Etapas del procesamiento de las hojas de rúcula: selección y caracterización de las hojas (A), recepción en bandejas (B), lavado y sanitizado (C), centrifugado (D), escurrido (E) y embolsado (F).

1.3.2. Instalación y características de las lámparas LED

Se utilizaron lámparas de luces LED marca LIFE LED (ASYCAR, Chile) que fueron instaladas en estantes (Figura 3, A). Además, se instalaron lámparas de luz blanca marca VKB, 1 x 20 watts (fabricadas en China) sobre una mesa (Figura 3, B) para simular una situación de góndola, todo lo anterior se realizó en una cámara frigorífica (Figura 3; Anexo, Figura 1).

Las lámparas fueron diseñadas para emitir los espectros rojos/azul y verde y se ajustó la densidad de flujo de fotones a $50\text{--}62 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en promedio (Apéndice I, Cuadro 15 y Apéndice II, Cuadro 13). Las lámparas contaron con un dispositivo de regulación de intensidad y se colocaron a una distancia de 20 ± 1 cm sobre las bolsas. Además, se midió previamente el flujo de luz a través de las bolsas plásticas para verificar las dosis (datos no mostrados). Las mediciones de intensidad y espectro de la luz, se midió en 6 puntos equidistantes con un espectrómetro (modelo Ligthing Passport, AsenseTek, Taiwán).

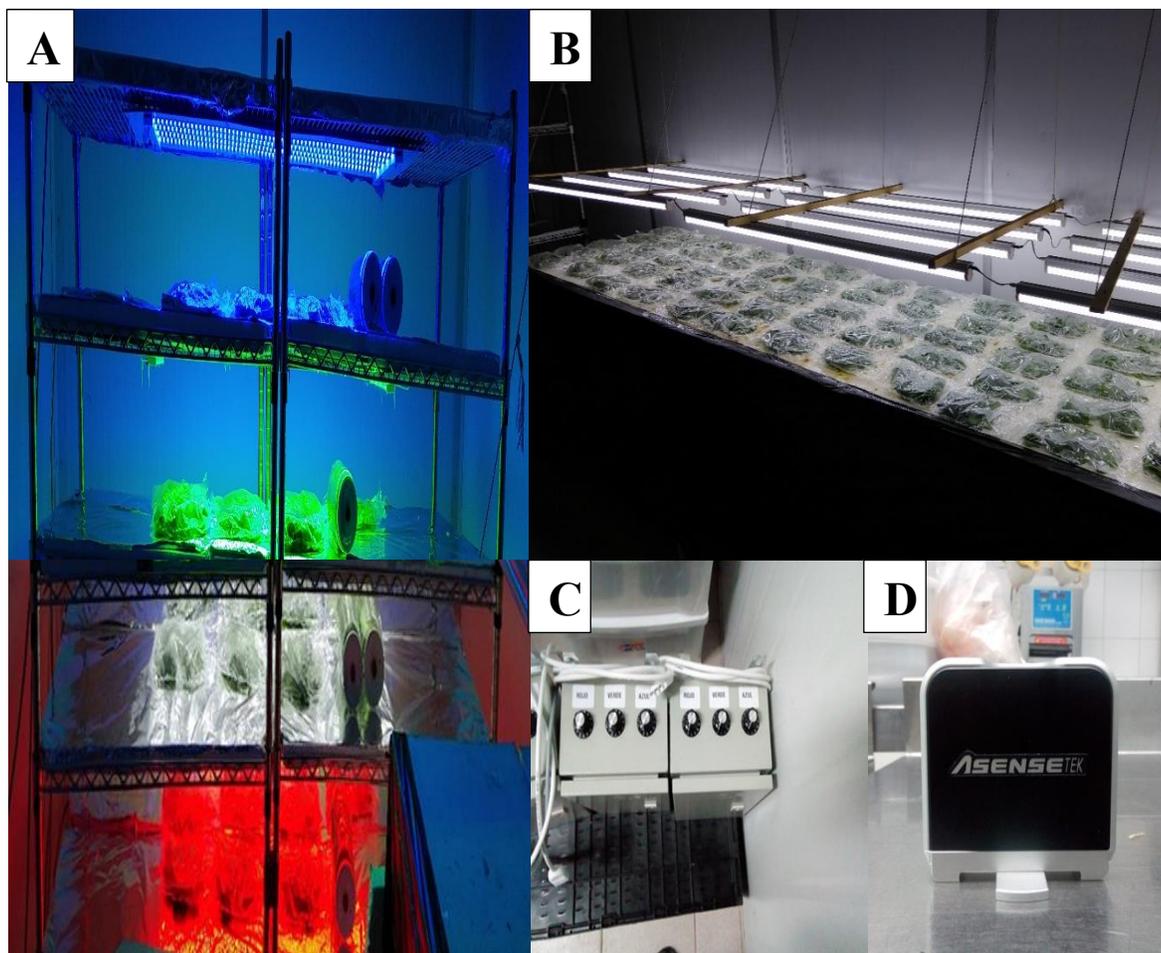


Figura 3. Estantes con lámparas LED dentro de la cámara frigorífica (A), mesa con lámparas de luz blanca (B), dimmers de regulación de intensidad y espectros (C), espectrómetro de luz Ligthing Passport, AsenseTek, (D).

1.3.3. Variables respuestas evaluadas

Se evaluaron las siguientes variables respuestas de tipo físicas y químicas para cada momento de muestreo (3, 6, y 9 días): porcentaje de pérdida de peso (PP), evolución de la atmósfera dentro de las bolsas, presencia de condensación, temperatura y humedad relativa bajo las luces, color y textura de las hojas, porcentaje de daño celular (solo al día 9), concentración de fenoles totales (CFT), capacidad antioxidante total (CAT) mediante los métodos FRAP y DPPH, concentración total de clorofila (CTC) y análisis microbiológico. Estas evaluaciones se realizaron en ambos experimentos.

1.3.3.1. Parámetros físicos

Porcentaje de pérdida de peso. El análisis se realizó tomando el peso inicial y final de todas las hojas de cada bolsa al momento del muestreo. Para este procedimiento se utilizó una balanza de precisión (Precisa, modelo BJ2100, Suiza) y posteriormente se determinó el peso en función del porcentaje perdido utilizando la siguiente fórmula:

$$(\%) \text{Porcentaje de pérdida de peso} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100$$

Evolución de la atmósfera dentro de las bolsas. Se realizó el monitoreo de los gases oxígeno y dióxido de carbono dentro de cada bolsa, durante los seis primeros días del almacenaje de la siguiente manera: se pincharon las bolsas utilizando un analizador de gases portátil (Dansensor, Check Point, Ringsted, Dinamarca) que entregó los valores en porcentaje de CO₂ y O₂.

Condensaciones en bolsas, temperatura y humedad relativa. Se monitoreó visualmente la presencia o ausencia de condensación en cada bolsa durante el almacenamiento empleando una escala subjetiva de 4 puntos desde 0 a 3 para indicar el nivel de condensación observado (Cuadro 3). Además, se monitoreó la temperatura y humedad relativa bajo las luces empleando registradores de datos (Extech Instruments, modelo RHT10, Estados Unidos).

Cuadro 3. Escala de evaluación para la presencia de condensaciones dentro de las bolsas con hojas de rúcula, expuestas a diferentes espectros-condiciones de luces LED dentro de estantes.

Nivel de condensación	Intensidad
0	sin condensación
1	leve
2	moderada
3	severa

Textura. Se midió la textura según el método empleado por Lara (2019) con algunas modificaciones. Se tomaron 4 hojas al azar por bolsa y se empleó una sonda HDP/BS a una altura de 30 mm con una fuerza de 10N a una velocidad de 5mm/s adaptada a un analizador de textura (TA XT Express, Stable Micro Systems, Reino Unido). Los datos se analizaron mediante el Software Exponet Lite Express Versión 6.1 y los resultados fueron expresados como la fuerza máxima de compresión para el corte en Newton (N).

Daño celular. Se realizó siguiendo la metodología descrita por Garrido *et al.*, (2016) y Guzmán *et al.*, (2018) con algunas modificaciones. Se tomaron 2 muestras de 2 hojas (4 x 6 mm) por bolsa de cada tratamiento. Las muestras fueron tomadas del tercio proximal de la hoja utilizando un bisturí. Luego las muestras fueron preservadas en una solución de 100 mL de formalina (4%), ácido acético (70%) y alcohol (70%) en tubos plásticos de centrifuga de 15 mL. Para la fijación de las muestras se empleó el método JB4 (Polyscience, Inc., Warrington, 132 PA) donde las muestras primero se colocaron en diferentes soluciones de alcohol de menor a mayor concentración empleando 70°, 80° y 95° con tiempo de inmersión

de 30 min por concentración. Posteriormente las muestras de tejido se colocaron dentro de tubos Eppendorff donde fueron infiltradas en la solución JB4 diseñada por el fabricante Polyscience, Inc. Seguido a esto las muestras fueron colocadas en un microtomo (Leitz ultramicrotome model 1516, Alemania) y se cortaron con un grosor 0,5 micrones para su observación en un microscopio de luz Motic BA 310 (Motic Instrument Inc, Canadá) con cámara integrada para obtener una micrografía a magnificaciones de 10x y 40x. Las imágenes fueron analizadas mediante el programa Motic Imagen plus 2.0. para determinar cambios en la morfología y/o daño celular (retracción citoplasmática, separación entre la pared y la membrana) que se expresaron en porcentaje de células dañadas.

Color. La medición de color se realizó con un colorímetro compacto triestímulo (Konica Kónica Minolta CM – 2500 Japón), con fuente iluminante D65 y un ángulo observado de 10° el cual fue calibrado con un estándar blanco y negro. Los parámetros de color evaluados fueron luminosidad (L^*), tono (H_{ab}) y saturación (C^*). La medición se realizó sobre tres hojas por bolsa en ambas caras.

1.3.3.2. Parámetros químicos

Para los análisis químicos se tomaron al azar 10 g que correspondió a 9 a 10 hojas frescas de cada bolsa y tratamiento. Inmediatamente las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas previamente rotuladas y mantenidas en un congelador a -80°C . Seguidamente las muestras congeladas fueron liofilizadas en un liofilizador (Ishin, modelo FD 5508 serie LL312, Corea) y molidas hasta lograr un polvo fino que se almacenó de tubos de centrifuga Falcon TM de 50 mL recubiertos con papel aluminio rotulados y almacenados en oscuridad para ser analizados posteriormente.

Concentración de fenoles totales (CFT). Para la extracción de los compuestos fenólicos totales se pesaron 0,2 g equivalentes a 9 a 10 hojas liofilizadas por cada repetición y se colocaron en tubos plásticos de centrifuga Falcon TM de 15 mL, siguiendo el método adaptado por Swain y Hills (1959) con algunas modificaciones. Se adicionó 10 mL de metanol 70%, luego se homogenizó el extracto con un agitador (Vortex Scilogex MX-S, Estado Unidos) por 1 minuto, seguidamente las muestras fueron colocadas dentro de un sonicador (modelo B-220 Branson, Smith Kline Company, Estados Unidos) por 15 min. Después se centrifugó con una centrifuga (HERMLE Labortechnik, Z326K, Alemania) durante 15 min a $16.128 \times g$ y posteriormente el sobrenadante se filtró utilizando filtros Whatman Uniflo $0,45\mu\text{m}$ (General Electric; Estados Unidos).

Para realizar la medición de los compuestos fenólicos totales se empleó el método colorimétrico adaptado por Singleton y Rossi (1965). Se prepararon 100 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) 700 mM y 100 mL del reactivo Folin-Ciocalteu. Luego en tubos Eppendorf de 2 mL y se agregaron 100 μL de extracto y 200 μL del reactivo Folin – Ciocalteu dejándose reaccionar por 5 min. Posteriormente se agregaron 800 μL de Na_2CO_3 y se dejó reaccionar por 1 h. Luego los tubos fueron centrifugados en una centrifuga (Hermle Labortechnik, modelo Z326k, Alemania) por 2 min a $4.032 \times g$; el sobrenadante fue extraído con una micropipeta y se agregaron 200 μL del extracto en una placa de 96 pocillos para realizar la medición a la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro (OASYS, modelo UVM340, Cambrige, Inglaterra). La concentración de compuestos fenólicos totales se calculó por

medio de una curva de calibración ($R^2= 0,9982$) realizada con ácido gálico. Los resultados se expresaron como mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/g de peso fresco (pf).

Capacidad antioxidante total (CAT). Se emplearon los métodos FRAP y DPPH utilizados en el CEPOC. La determinación de capacidad antioxidante mediante el método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) se realizó según Benzie y Strain (1996) con algunas modificaciones. Se pesó 0,2 g de muestra liofilizada, se molió y mezcló con 10 mL de metanol al 70% y se filtró utilizando filtros Whatman Uniflo 0,45 μ m (General Electric; Estados Unidos). Posteriormente, se tomó una alícuota de 20 μ L del extracto y se agregó 600 μ L de reactivo FRAP dejándose reaccionar por 30 min; luego se tomó una alícuota de 200 μ L y se colocó en una microplaca de 96 pocillos midiéndose las muestras a una absorbancia de 593 nm con un espectrofotómetro de placas (ASYS- UVM340, Cambridge, Inglaterra) cada 30 min hasta alcanzar la estabilización de la reacción en el tiempo. La capacidad antioxidante total se calculó por medio de una curva de calibración realizada en base a una solución madre de Trolox $1,6 \cdot 10^{-3}$ M ($R^2= 0,9966$). Los resultados se expresaron como μ g equivalentes de Trolox (ET)/g de peso fresco.

El segundo método para determinar capacidad antioxidante fue el de radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil) propuesto por Brand-Williams *et al.*, (1995); se pesó 0,2 g y se le agregó 10 mL de metanol al 70%, seguidamente se mezcló 250 μ L del extracto con 1 μ L de solución DPPH (previamente ajustado a 1,1 de absorbancia a 517 nm) y se dejó reaccionar durante 20 minutos. Posteriormente se tomó un alícuota de 200 μ L y se colocó en una microplaca de 96 pocillos. Se realizó la primera lectura a una absorbancia de 517 nm en un espectrofotómetro de microplacas (Asys, UVM340, Cambridge, Inglaterra) y luego de 2 horas una segunda lectura. La capacidad antioxidante total fue calculada por medio de una curva de calibración ($R^2=0,927$) realizada en base a una solución madre de Trolox $1,6 \cdot 10^{-3}$ M, los resultados se expresaron como μ g equivalentes de Trolox (ET)/g de peso fresco.

Concentración total de clorofila (CTC). Para la extracción se utilizó el método descrito por Gutiérrez *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se utilizaron 0,2 g de muestra liofilizadas molidas a las cuales se les adicionó 10 mL de acetona al 99,5% en tubos de centrifuga FalconTM de 15 mL; luego los extractos fueron homogenizados en un agitador (Vortex Scilogex MX-S, Estado Unidos) por 1 minuto y se centrifugaron en una centrifuga (Hermle Labortechnik, Z326k, Alemania) a $5,000 \times g$ por 10 min; después las muestras fueron almacenadas en oscuridad por 2 horas. Se procedió medir el extracto puro bajo diferentes densidades ópticas (D.O.) a 645 nm para clorofila b y 663 nm para clorofila a con un espectrofotómetro (modelo Optizen Pop, Corea). Los cálculos de clorofila total se realizaron de acuerdo con las ecuaciones empleadas por Chen *et al.* (2014):

$$\text{Chl a (mg/g)} = (12,72 \times \text{D.O.663} - 2,59 \times \text{D.O.645}) \times V / 1000 \text{ pf.}$$

$$\text{Chl b (mg/g)} = (22,88 \times \text{D.O.645} - 4,67 \times \text{D.O.663}) \times V / 1000 \text{ pf.}$$

$$\text{Clorfila total} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

Donde: V es el volumen de acetona y pf es el peso fresco de la muestra.

1.3.3.3. Análisis microbiológico

Recuento microbiológico. Para la determinación de los recuentos microbianos se realizó según el método empleado por Gutiérrez *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se tomaron muestras de 5 g de hojas frescas procedentes cada repetición por tratamiento los 3, 6 y 9 días. Estas muestras fueron homogenizadas en 45 mL de agua peptonada estéril 0,1% utilizando un homogeneizador masticador (IUL Instruments, España); seguidamente se procedió a realizar diluciones decimales de $1 \cdot 10^{-1}$ a $1 \cdot 10^{-5}$. Los recuentos microbiológicos se expresaron en unidad logarítmica formadora de colonias por gramo de peso fresco (log ufc/g pf) y se evaluaron de acuerdo con la normativa chilena para frutas y otros vegetales comestibles, preelaborados listos para el consumo establecida en el Reglamento Sanitario de los Alimentos (MINSAL, 2019).

Cuadro 4. Condiciones de incubación de los distintos microorganismos estudiados y medios de cultivos PCA: Agar de conteo de placa, ABRV: Agar de bilis y rojo violeta.

Tipo de microorganismo	Medio de cultivo	Tiempo de incubación en días	Temperatura (°C)
Mesófilos aerobios totales	PCA	2	37
Enterobacterias	VRBA	2	37
Psicrófilos	PCA	7	5

RESULTADOS

1.4. Experimento 1

1.4.1. Caracterización inicial de parámetros físicos, químicos y microbiológica de hojas de rúcula

Al momento de la cosecha las hojas de rúcula presentaron una longitud de 10,4 a 11,6 cm; el peso fue de 1,56 a 1,64 g; respecto al color, la luminosidad de las hojas estuvo entre 35,5 a 37,1; la saturación de 45,7 a 48,9 y el tono de 108,7° a 109,7°. En relación con la textura de las hojas fue de 1,6 a 2,0 N y el porcentaje de daño celular entre 5,5 a 6,5%. La concentración de fenoles totales fue de 5,0 a 5,6 mg EAG/g pf; en tanto la capacidad antioxidante por FRAP fue de 2.086,8 a 2.088,8 mg de ET / g pf; y por DPPH fue de 1.980,2 a 1.981,8 µg de ET/g y la concentración total de clorofila presentó valores de 3,73 mg/ g pf. Respecto a los recuentos microbiológicos para mesófilos estuvo entre 1,3 a 1,5 log ufc/g pf, para enterobacterias fue de 0,9 a 1,1 log ufc/g pf y para psicrófilos los valores fueron de 2,0 log ufc/g pf. Estos resultados se muestran a continuación en el Cuadro 5. El material cosechado presentó parámetros de calidad adecuados para los productos de hojas tamaño baby y de IV gama.

Cuadro 5. Caracterización física, químicas y microbiológica de las hojas de rúcula al momento de la cosecha.

¹ Parámetros Físicos	Valor	² Parámetros químicos	Valor	³ Recuento microbiológico	Valor
Tamaño de hojas (cm)	11,0 ± 0,6	CFT (mg EAG/ g pf.)	5,3 ± 0,3	Mesófilos (log ufc/g.)	1,4±0,1
Peso (g)	1,6 ± 0,0	CAT por FRAP (mg ET / g pf.)	2.087,8±1,0	Enterobacterias (log ufc/g .)	1,0±0,1
Color (L*)	36,3 ± 0,8	CAT por DPPH (µg ET/g pf.)	1.981,0 ± 0,8	Psicrófilos (log ufc/g.)	1,1±0,0
(H _{ab})	109,2 ± 0,5				
(C*)	43,7 ± 1,6				
Textura (N)	1,8 ± 0,2	CTC (mg /g pf.)	3,7 ± 0,0		
Daño celular (%)	6,0± 0,5				

¹Los promedios corresponden a 4 réplicas de 20 hojas al azar por cada una de las repeticiones.

²Los promedios corresponde 4 réplicas de 10 gramos de hojas frescas.

³Los promedios corresponden a 3 réplicas de 5 gramos de hojas frescas.

1.4.2. Parámetros Físicos

1.4.2.1. Pérdida de peso. No se encontró una interacción entre los factores espectro-condiciones de luz y tiempo de almacenaje; por lo tanto, se analizó cada factor de manera independiente (Figura 4; Apéndice I, Cuadro 1). Las mayores pérdidas de peso se registraron en los tratamientos A+B, R+B y B+B cuyos rangos fueron de 6,1 a 5,4%. Sin embargo, la pérdida de peso fue menor en los tratamientos de oscuridad (B+O y O+O) y luz verde (V+B) mostrando valores entre 1,1 a 2,9% respetivamente. Se detectó que las hojas bajo luz verde perdieron menos peso que aquellas que estuvieron tratadas con luz azul, roja y blanca lo que podría relacionarse con el cierre de las estomas frente a la luz verde. Al transcurrir seis días de almacenamiento el porcentaje de pérdida de peso se mantuvo en valores de 2,8 y 3,6%. Sin embargo, a los 9 días las pérdidas de peso alcanzaron un valor promedio de 5,8% sin observarse diferencias significativas entre tratamientos para ese día (Figura 4; Apéndice I, Cuadro 1).

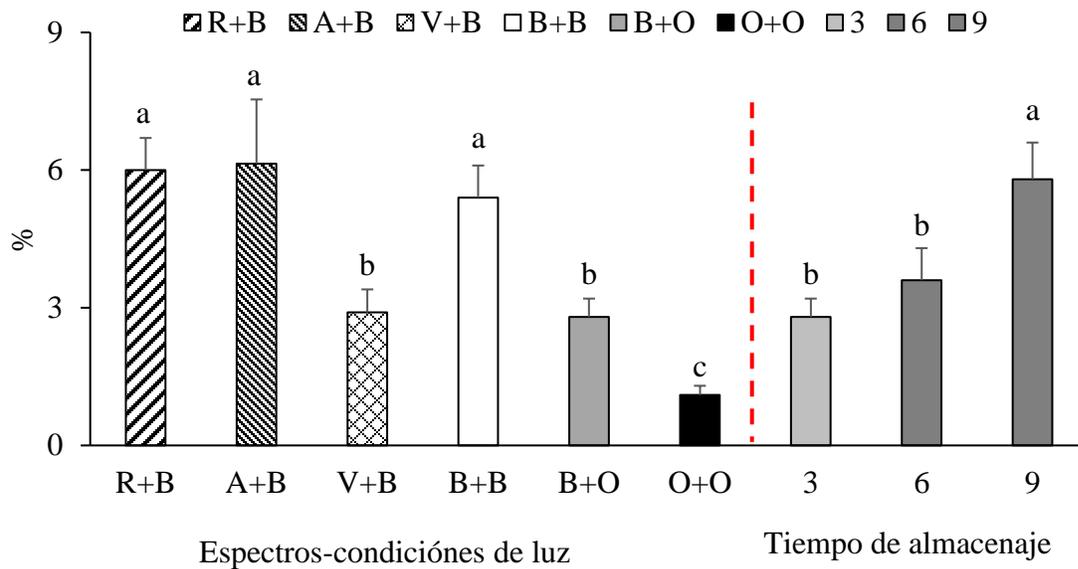


Figura 4. Pérdida de peso en porcentaje (%) de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor de manera independiente.

1.4.2.2. Evolución de la atmósfera dentro de las bolsas. El porcentaje de O₂ y CO₂ dentro de las bolsas fue muy cercano a la del aire (21% O₂ y 0,0% CO₂) para los tratamientos con luz (Apéndice I, cuadro 16). Tras alcanzar tres días de almacenamiento R+B y B+B, presentaron valores entre 19,9 a 20,1 % de O₂ y 0,0 a 0,3 % de CO₂; sin embargo, dentro de las bolsas mantenidas en oscuridad, se encontraron valores menores de oxígeno de 16,3 a 17,1% y mayores de dióxido de carbono de 1,2 a 1,4 %. Seis días después del almacenamiento, se manifestó un comportamiento parecido al día 3, donde los tratamientos A+B, R+B y B+O mantuvieron valores de 19,5, 19,6 y 19,8% para el oxígeno y entre 0,0 a 0,1% de CO₂. Por otra parte, los valores para O+O fueron de 17,6 a 17,8% de O₂ y 0,3 a 0,7% de CO₂ respectivamente.

1.4.2.3. Condensaciones, temperatura y humedad relativa. Durante el experimento se pudo detectar condensaciones severas como se observa en la Figura 5 (A). Las condensaciones ocurrieron dentro de todas de las bolsas expuestas a los tratamientos con luz (R+B, A+B, V+B, B+B, y B+O). Sin embargo, las bolsas almacenadas en oscuridad continua (O+O) no presentaron condensación como se aprecia en la Figura 5 (B). Este fenómeno podría estar asociado a una mayor transpiración estomática y a las variaciones de las temperaturas y humedad relativa de hasta 4,6 °C y 18% HR que se presentaron bajo las lámparas LED según el tratamiento. Las hojas tratadas con B+B, presentaron las temperaturas más altas de 8,5 a 8,9 °C y la humedad relativa más baja de 74,2 a 77,8%; en tanto en O+O se encontraron las temperaturas más bajas de 3,9 a 4,1°C y humedad relativa de 93,2 a 94,8% siendo éstas las más altas (Figura 6, Apéndice I, Cuadro 15).



Figura 5. Condensación severa dentro de bolsa expuesta a tratamientos con luz (A) y bolsas sin condensación (B).

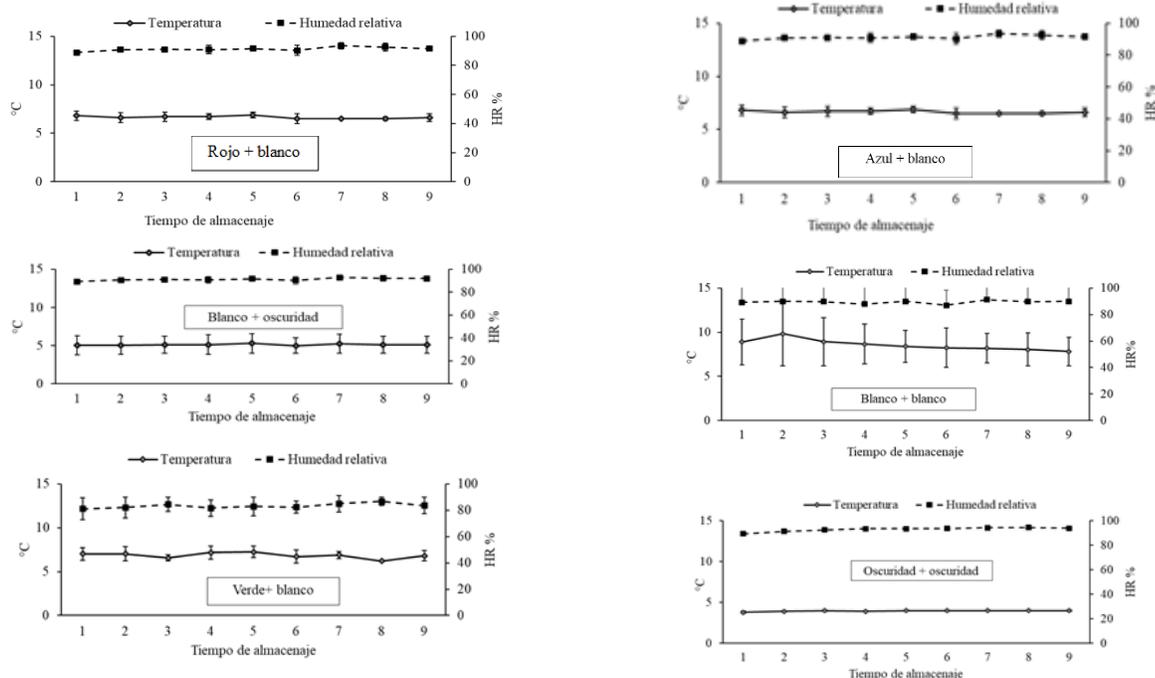


Figura 6. Temperatura y humedad relativa promedio registrada por día, según los espectro-condiciones de luz aplicados en hojas de rúcula durante su conservación en una cámara a 4°C. Experimento 1.

1.4.2.4. Textura. Durante el experimento no se presentó interacción entre los factores evaluados (Apéndice I, Cuadro 5). No obstante, las hojas tratadas con A+B, O+O y B+B presentaron los valores más altos de 2,0 y 1,8 N en comparación a V+B, R+B y B+O que registraron 1,6 a 1,73 N. La textura de las hojas fue similar en los días 3 y 6 con valores de 1,7 N, respectivamente. Sin embargo, el día 9 los valores aumentaron significativamente con respecto al día seis con un promedio de 1,9 N (Figura 7).

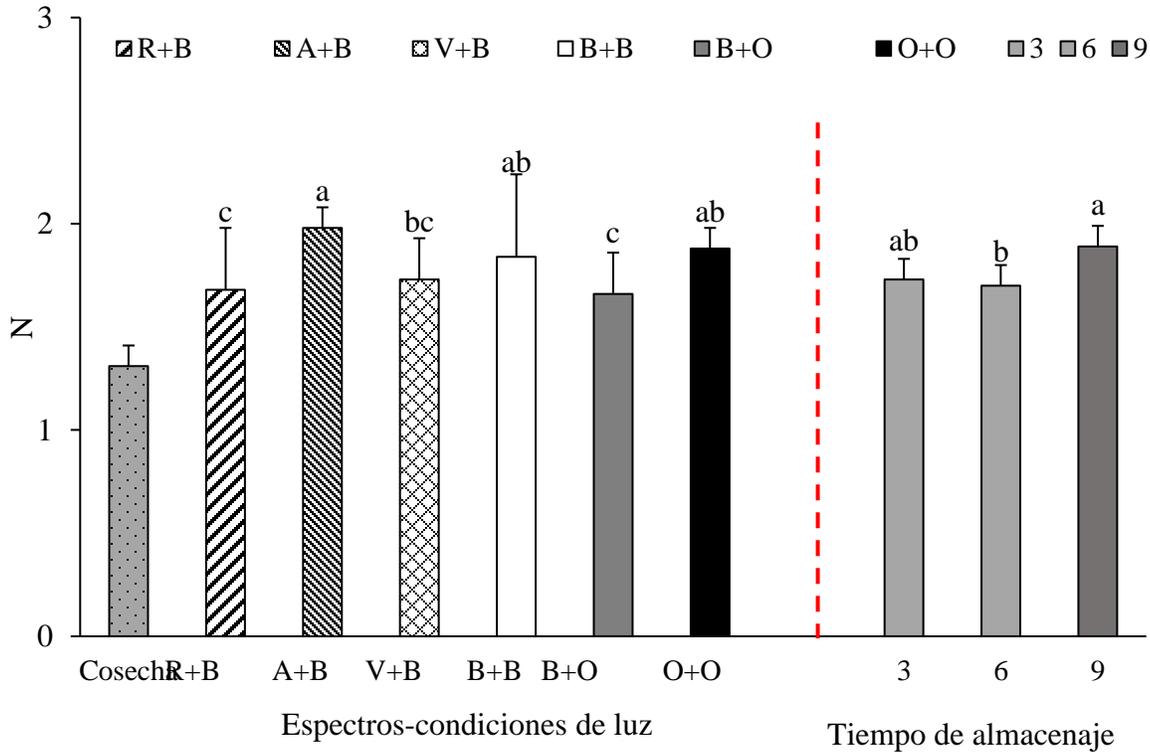


Figura 7. Fuerza máxima (N) en hojas de rúcula, expuestas a distintos espectros-condiciones de luz almacenadas durante 9 días a 4°C. Letras diferentes sobre las barras, indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor de manera independiente. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones.

1.4.2.5. Daño celular (%). Tras 9 días a 4°C las hojas presentaron mayores porcentajes de daño celular en los tratamientos V+B, A+B, R+B y B+B siendo de 57 a 68% mientras que aquellas conservadas en oscuridad tuvieron 23 a 47 % de daño (Figuras 8 y 9 Apéndice I, Cuadro 6). De acuerdo con varios estudios realizados por Garrido *et al.* (2015 y 2016) las anomalías o lesiones en los tejidos vegetales de hoja como retracción citoplasmática y separación entre la pared célula y la membrana plasmática se presentan cuando las hojas sufren de muerte celular programada (apoptosis) tras estar sometida a estrés. Estas alteraciones se consideran un indicio de pérdida de funcionalidad celular.

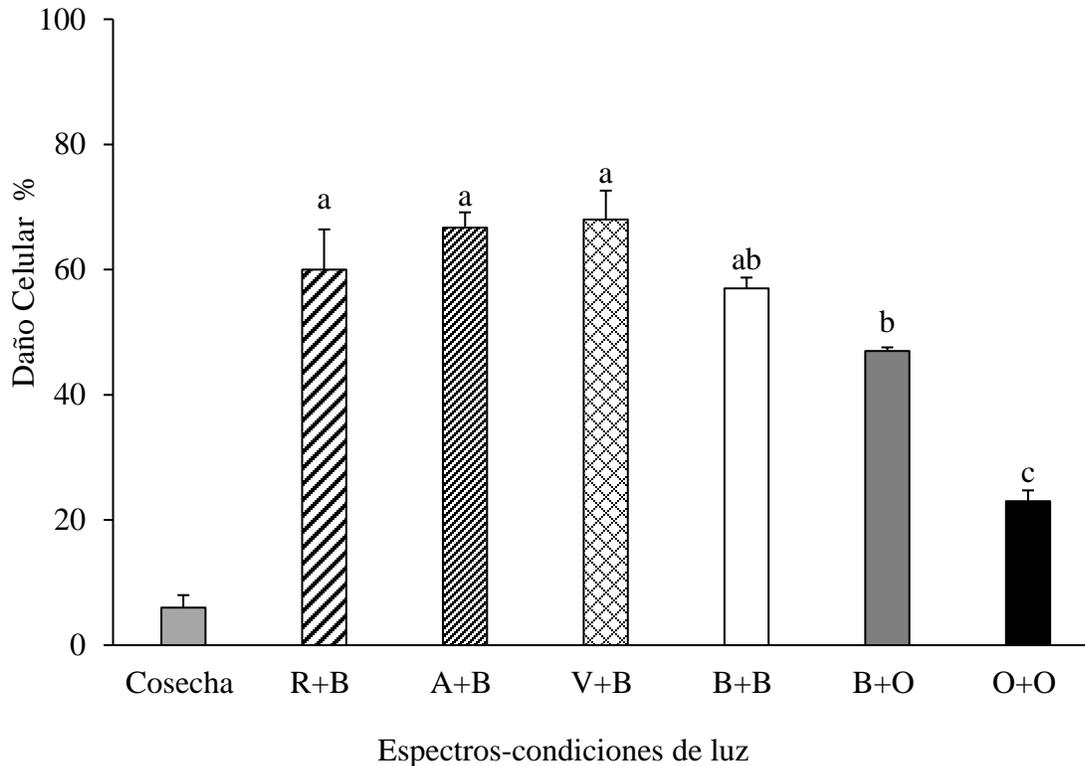


Figura 8. Porcentaje de daño celular en hojas de rúcula tratadas con distintos espectro-condiciones tras 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras diferentes sobre las barras, indican diferencias significativas entre tratamientos el día 9. Valores corresponden al promedio de tres repeticiones.

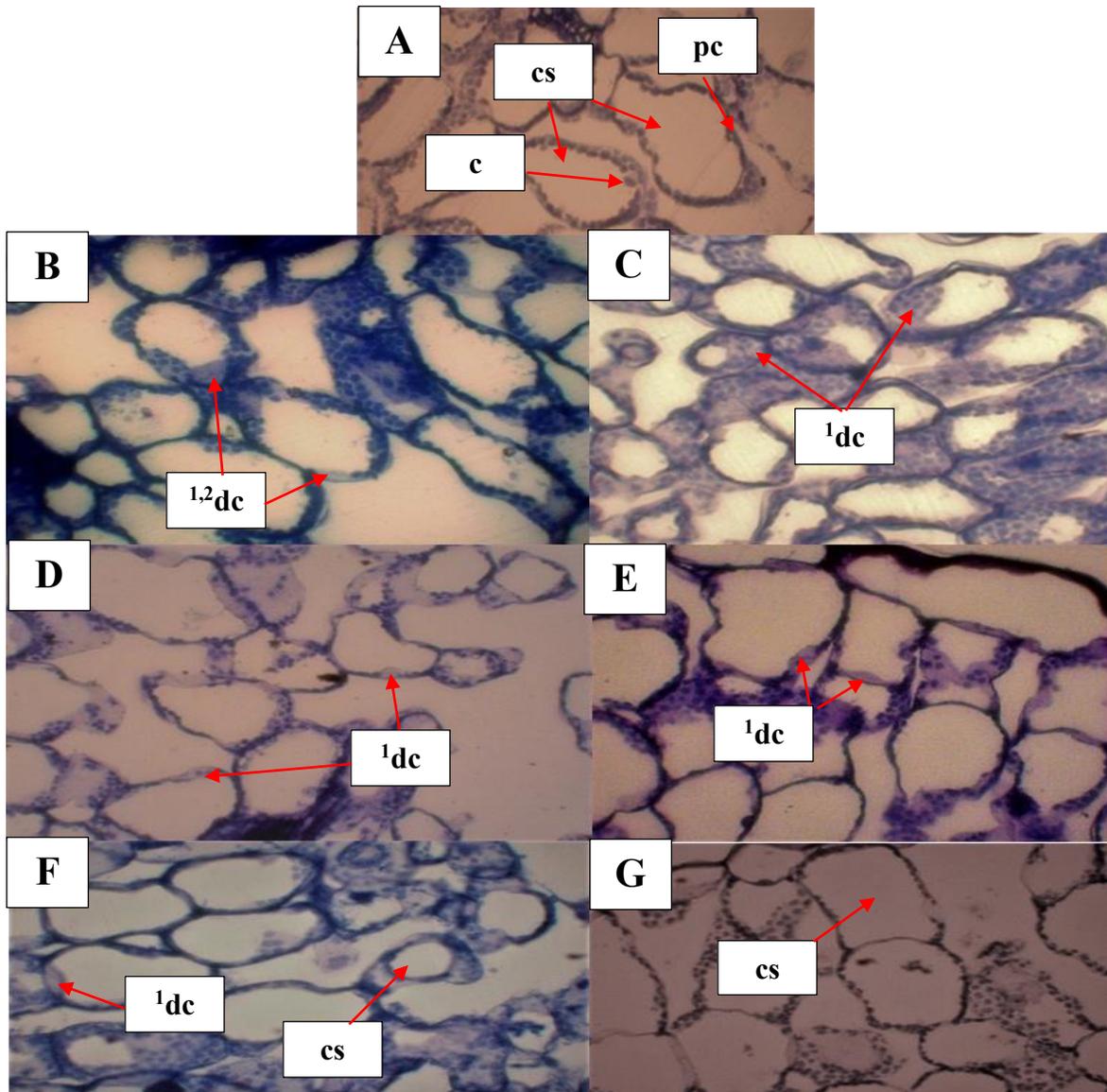


Figura 9. Micrografías (magnificadas a 400x) de células de hojas de rúculas al momento de la cosecha y tras 9 días de almacenamiento bajo diferentes espectros-condiciones de luz. Cosecha (A), R+B (B), A+B (C), V+B (D), B+B (E), B+O (F) y O+O (G). c= cloroplastos, pc= pared celular, dc= daño celular (¹retracción citoplasmática y ²separación entre la pared celular y la membrana plasmática), cs= célula sana (pared celular, membrana plasmática intactas y cloroplastos en los bordes de las células).

1.4.3. Parámetros de color

1.4.3.1. Luminosidad. Se detectó una interacción significativa entre los factores evaluados. Al analizar los valores por día se encontraron diferencias el día 6 con valores superiores en A+B y V+B de 43,3 y 41,8, respectivamente. Los tratamientos B+O y O+O presentaron los menores valores de L* con 38,2 y 37,4 aunque fueron similares estadísticamente a B+B y R+B respectivamente (Figura 10). Para el día nueve los valores más altos fueron en A+B, V+B, B+B y R+B con valores en el rango de 50,7 a 47,5 donde se observó un aclaramiento del color de las hojas (Figura 10). En cambio, las hojas mantenidas en oscuridad B+O y O+O tuvieron valores inferiores entre 40,4 y 38,9 (Figuras 10 y 13; Apéndice I, Cuadro 2). En general las hojas al ser irradiadas con luces LED mantuvieron los valores de L* durante los seis primeros días, excepto aquellas expuestas a A+B en las que hubo un aumento significativo en el tiempo.

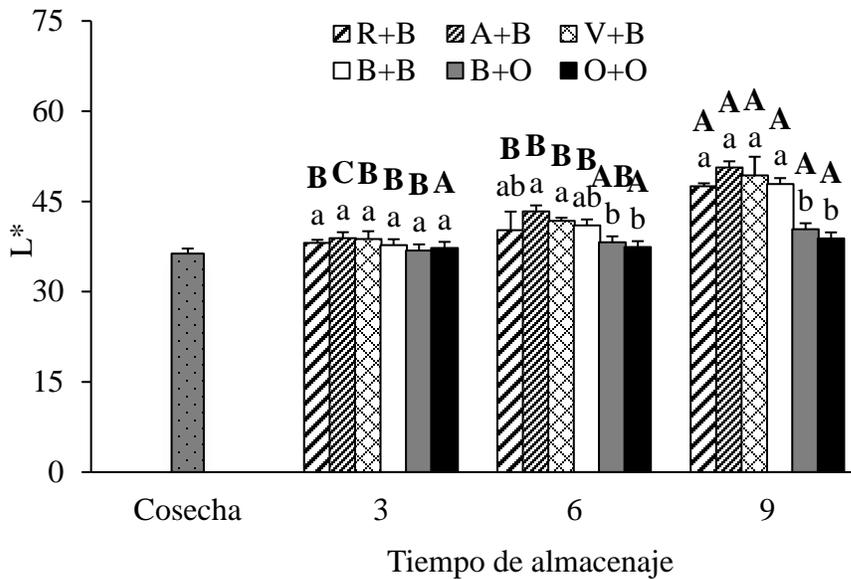


Figura 10. Evolución de la luminosidad del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones.

1.4.3.2. Tono. Al realizar el análisis de los factores, no se encontró una interacción significativa (Apéndice I, Cuadro 3). El tono de las hojas fue similar entre los tratamientos de luz continua R+B, B+B, V+B y A+B durante los 9 días de almacenaje presentando, valores de $106,0^\circ$ a $105,1^\circ$ siendo estos valores inferiores respecto a los tratamientos en oscuridad B+O y O+O los cuales alcanzaron valores superiores a $108,3^\circ$ a $109,0^\circ$ (Figura 11). Respecto al tiempo de almacenamiento, el tono se mantuvo en valores de $107,2$ a $108,0^\circ$ durante los seis primeros días y descendió significativamente el día 9 a $105,0^\circ$ donde se pudo notar un amarillamiento de las hojas en todos los tratamientos, principalmente en aquellos expuestos a luz continua (Figura 8; Apéndice I, Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con los encontrados en la luminosidad como se mostró en la Figura 10, donde los valores del día 9 fueron superiores a los encontrados el día 3 y 6.

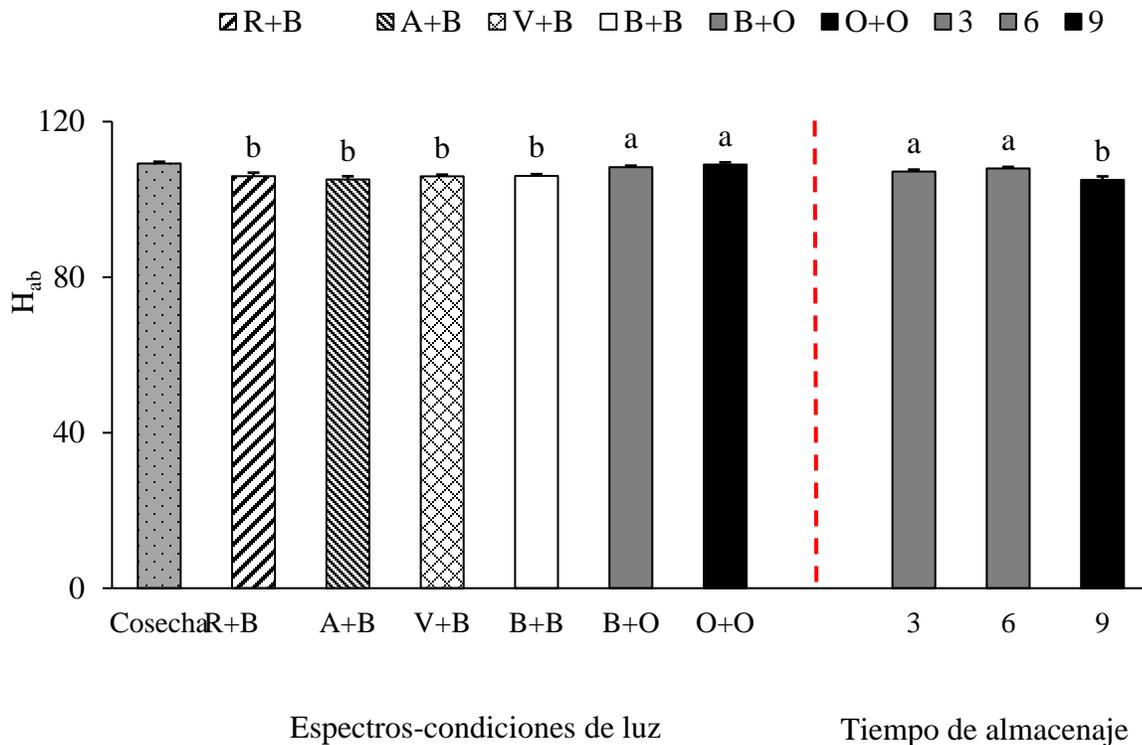


Figura 11. Evolución del tono de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C . Letras distintas sobre las barras, indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor de manera independiente. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones.

1.4.3.3. Saturación. Tras realizar el análisis para la saturación del color, no se encontró una interacción significativa (Apéndice I, Cuadro 4). Los valores más altos fueron en A+B, R+B, B+B y V+B con valores entre 51,4 a 50,3, mientras que en B+O y O+O los valores fueron de 46,4 y 44,8, siendo significativamente inferiores al resto de los tratamientos evaluados (Figura 12). Durante el tiempo de almacenaje la saturación se mantuvo similar para los días 3 y 6 en valores de 48,3 y 48,0. Para el día 9 el valor aumentó significativamente en todos los tratamientos alcanzando un promedio de 51,2 (Figura 12; Apéndice I, Cuadro 4).

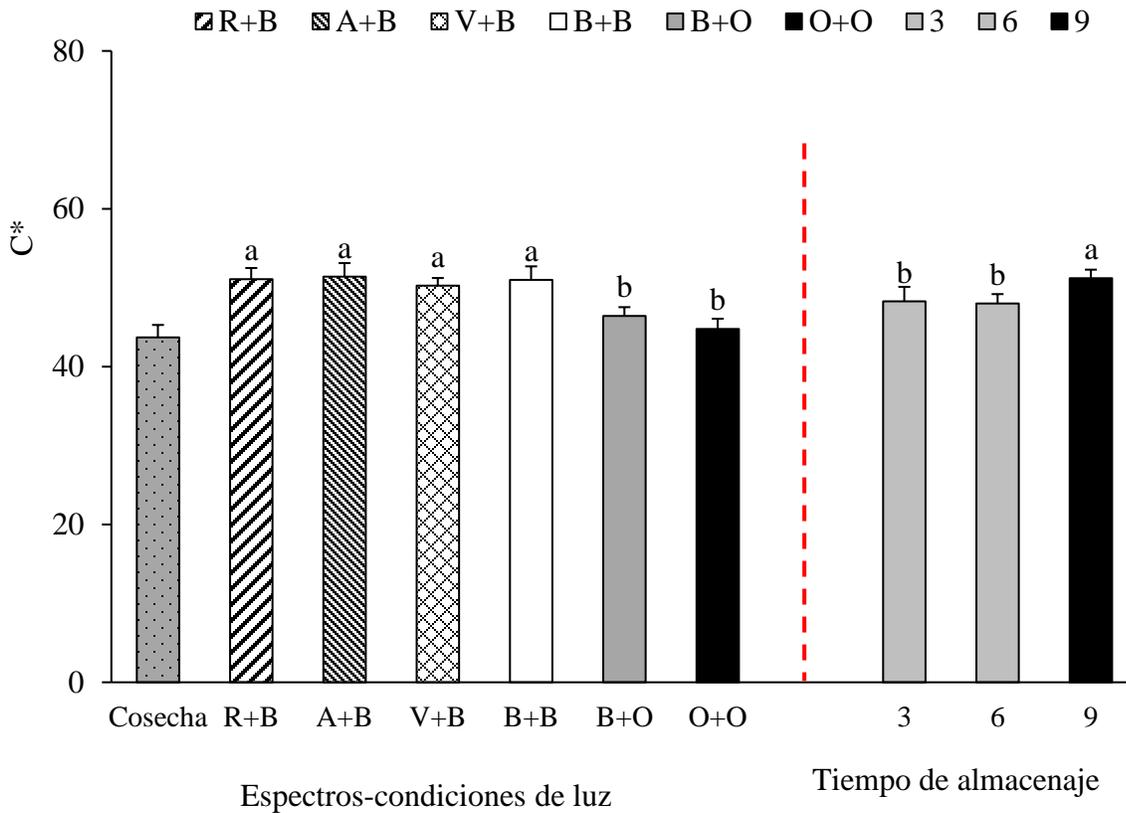


Figura 12. Evolución de la saturación de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C. Letras distintas sobre las barras, indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor de manera independiente. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones



Figura 13. Evolución del color en distintos momentos y el efecto de los espectros de luz sobre hojas de rúcula tamaño baby almacenadas en refrigeración durante nueve días.

1.4.4. Parámetros químicos

1.4.4.1. Concentración de fenoles totales. Se encontró una interacción significativa entre los factores estudiados. A los tres días la concentración de fenoles totales (CFT) fue estadísticamente similar para todos los tratamientos donde se registraron valores entre 4,8 y 5,8 mg EAG/g pf. Al sexto día hubo variaciones en las CFT, donde las hojas expuestas a los tratamientos V+B, B+O presentaron valores superiores de 6,7 y 6,6 mg EAG/g pf comparados al resto de tratamientos B+B, O+O, A+B y R+B cuyas concentraciones estuvieron en el rango de 4,6 a 5,7 mg EAG/ g pf. Por otro lado, el día 9 las hojas tratadas con R+B, y B+B alcanzaron los valores más altos de 6,8 y 6,7 mg EAG/ g pf; en cambio A+B, B+O, V+B y O+O tuvieron valores inferiores entre 5,2 y 6,3 mg EAG/g pf, (Figura 14; Apéndice I, Cuadro 7). En cuanto al comportamiento de los tratamientos a través del tiempo, se encontró que las hojas irradiadas con R+B se mantuvo durante los primeros 6 días para luego aumentar significativamente el día 9. Por otro lado, en A+B, B+B y O+O la concentración fue similar durante los 9 días; En B+O se observó un aumento significativo entre el día 3 y 6 para luego estabilizarse el día 9. En cuanto a la luz verde se generó una disminución significativa de 1,5 mg EAG/g pf, entre el día 6 y 9 a 4°C.

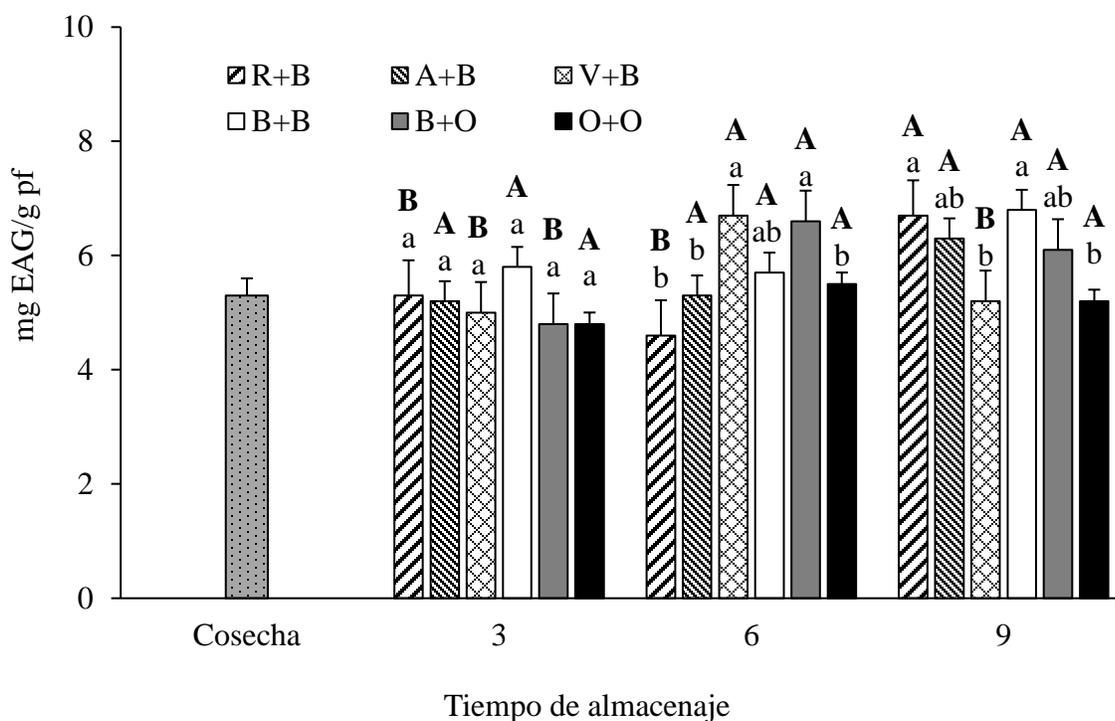


Figura 14. Concentración de fenoles totales de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles de factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones.

1.4.4.2. Capacidad antioxidante total por FRAP. Se encontró una interacción entre los factores evaluados (Apéndice I, Cuadro 8). Luego de tres días del almacenamiento, el valor más alto de capacidad antioxidante fue en O+O con 2088,8 µg ET/g pf y el valor más bajo se presentó en las hojas tratadas con B+B presentando un valor de 2082,0 µg ET/g pf. Por otro lado, al llegar el día 6 los tratamientos R+B y A+B tuvieron los valores más altos de 2088,8 a 2086,8 µg ET/g pf mientras que el tratamiento V+B presentó el valor más bajo de 2.078,0. La CAT fue similar entre los tratamientos A+B, V+B, B+B, B+O y O+O cuyos valores fueron de 2.086,8 a 2078,0 µg ET/g pf. El día 9 los tratamientos O+O y V+B presentaron las mayores capacidades antioxidantes con 2087,8 y 2085,9 µg ET/g pf y los tratamientos B+B y R+B mostraron la menor CAT (Cuadro 6). También las rúculas tratadas con R+B, A+B y B+B mantuvieron la capacidad antioxidante durante los 6 primeros días mientras que bajo los espectro-condiciones de luz V+B, B+O y O+O los valores de CAT fueron significativamente menores.

Cuadro 6. Capacidad antioxidante total por FRAP y DPPH de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Tratamientos	FRAP	DPPH
	µg ET/g pf	
¹ Medias		
Día 3		
R+B	2.084,7±0,7Aab	1.981,7±0,7Ba
A+B	2.084,8±1,6ABab	1.982,2±1,5Ba
V+B	2.086,4±0,6Aab	1.981,1±1,4Ca
B+B	2.082,0±0,9Ab	1.983,7±1,2Ba
B+O	2.086,9±1,3Aab	1.980,0±0,9Ba
O+O	2.088,8±1,5Aa	1.981,2±1,1Ca
Día 6		
R+B	2.088,8±2,3Aa	1.979,2±2,2Bb
A+B	2.086,8±0,7Aab	1.980,0±1,4Bb
V+B	2.078,0±0,9Bb	1.990,7±0,7Aa
B+B	2.081,8±2,3Ab	1.987,4±2,0Ba
B+O	2.078,7±2,1Bb	1.989,5±1,9Aa
O+O	2.082,1±1,0Bb	1.990,2±0,7Aa
Día 9		
R+B	2.074,4±1,3Bc	1.995,3±0,8Aa
A+B	2.081,2±2,4Bb	1.990,4±2,2Ab
V+B	2.085,9±2,4Aab	1.986,4±2,7Bbc
B+B	2.076,2±3,0Bc	1.995,2±0,6Aa
B+O	2.081,2±0,6Bb	1.991,6±0,7Aab
O+O	2.087,8±2,5Aa	1.985,6±2,2Bc
² Cosecha	2.087,8±1,0	1.981,4±0,8

¹Medias con letras minúsculas diferentes en sentido vertical en la misma columna indican diferencias significativas, entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B), $p < 0,05$, (n=4). Letras mayúsculas diferentes en sentido vertical en la misma columna indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A), $p < 0,05$, (n=4), ± E.E.

²Valor de referencia al momento de la cosecha (n=4).

1.4.4.3. Capacidad antioxidante por DPPH. Los resultados mostraron una interacción entre los factores evaluados (Apéndice I, Cuadro 9). Luego de tres días no hubo diferencia entre los tratamientos con los valores de 1.980,0 a 1.983,7 $\mu\text{g ET/g pf}$ (Cuadro 6). Sin embargo, en el día seis las hojas tratadas con V+B, O+O, B+O y B+B presentaron mayor capacidad antioxidante donde los valores estuvieron entre 1.990,7 a 1.987,4 $\mu\text{g de ET/g Pf}$. En el mismo periodo los tratamientos A+B y R+B alcanzaron los valores más bajos de 1.980,0 y 1979,2 $\mu\text{g ET/g pf}$. Después de 9 días los tratamientos R+B, B+B y B+O alcanzaron los valores más altos de 1.991,6 a 1.995,3 $\mu\text{g ET/g pf}$ mientras que los tratamientos V+B y O+O tuvieron los valores más bajo de 1.985,6 a 1986,4 $\mu\text{g ET/g pf}$ (Cuadro 6). La capacidad antioxidante se mantuvo similar durante 6 primeros días para luego aumentar el día 9 en las hojas tratadas con R+B A+B y B+B. En cambio, en el resto de los tratamientos V+B, B+O y O+O se vio incrementada la CAT hasta el sexto día y al llegar a los 9 día decreció únicamente en V+B y O+O.

1.4.4.4. Concentración total de clorofila (CTC). Durante el experimento se detectó una interacción significativa entre los factores espectros-condiciones de luz y tiempo de almacenaje (Apéndice I, Cuadro 10). Al día 3 del almacenaje las concentraciones de clorofila fueron similares entre tratamientos con valores de 3,76 a 3,71 mg /g pf ; al sexto día los valores también se mantuvieron similares respecto al día tres con valores entre 3,75 a 3,72 mg /g pf . No obstante, el noveno día los tratamientos R+B, R+, V+B y B+B presentaron los menores valores de 2,72 a 3,44 mg / g pf comparados con O+O y B+O que se mantuvieron en 3,59 y 3,59 $\text{mg de clorofila total /g pf}$, respetivamente (Figura 15). En todos los tratamientos con luz continua (R+A, A+B, V+B y B+O) las concentraciones de clorofila se mantuvieron similar durante los primeros seis días para luego disminuir significativamente el día 9.

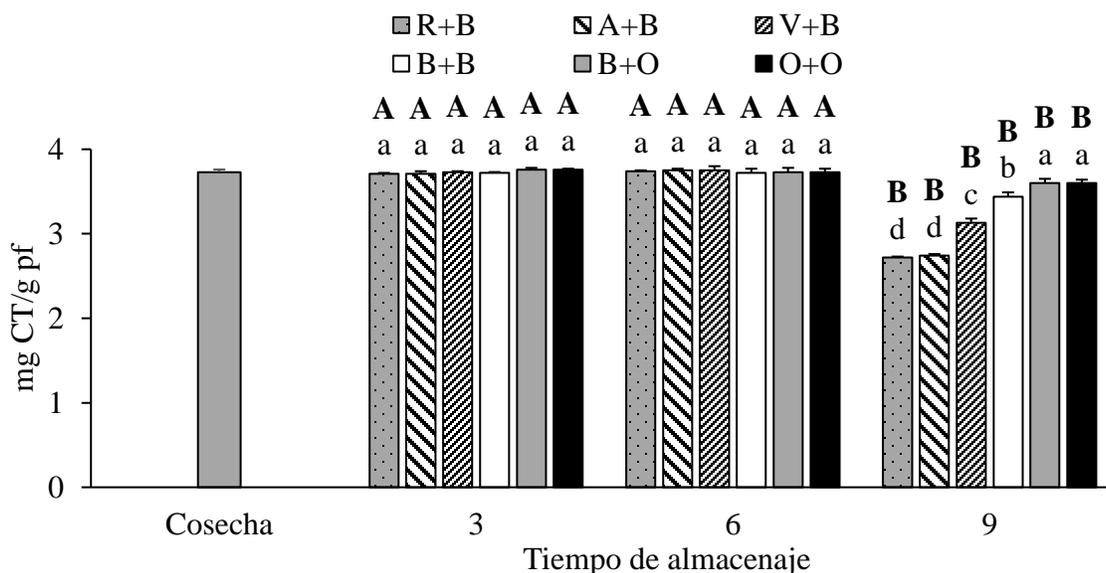


Figura 15. Concentración de clorofila total de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones.

1.4.5. Evaluación microbiológica

1.4.5.1. Recuento de mesófilos. El análisis relevó una interacción entre los factores evaluados (Apéndice I, Cuadro 11). Luego de tres días de almacenamiento el tratamiento V+B tuvo el valor más bajo de 2,13 log ufc/ g respecto a R+B, B+B, B+O, A+B y O+O con recuentos de 2,37 a 2,80 log ufc/g (Figura 16; Apéndice I, Cuadro 11). Tras los primeros seis días de almacenamiento se alcanzaron los recuentos más bajos en B+O, B+B y R+B con 2,50 a 2,67 log ufc/g respecto a V+B, O+O y A+B que registraron 3,63 a 3,80 log ufc/g. Tras 9 días se registraron recuentos menores en B+B, R+B y B+O en el rango de 2,53 a 3,27 log ufc/g en comparación a A+B, O+O y V+B con 4,33 a 3,77 log ufc/g. Además, se detectó que la aplicación de R+B y B+O a través del tiempo tuvo los recuentos de mesófilos similares al resto de los espectros-condiciones de luz estudiados.

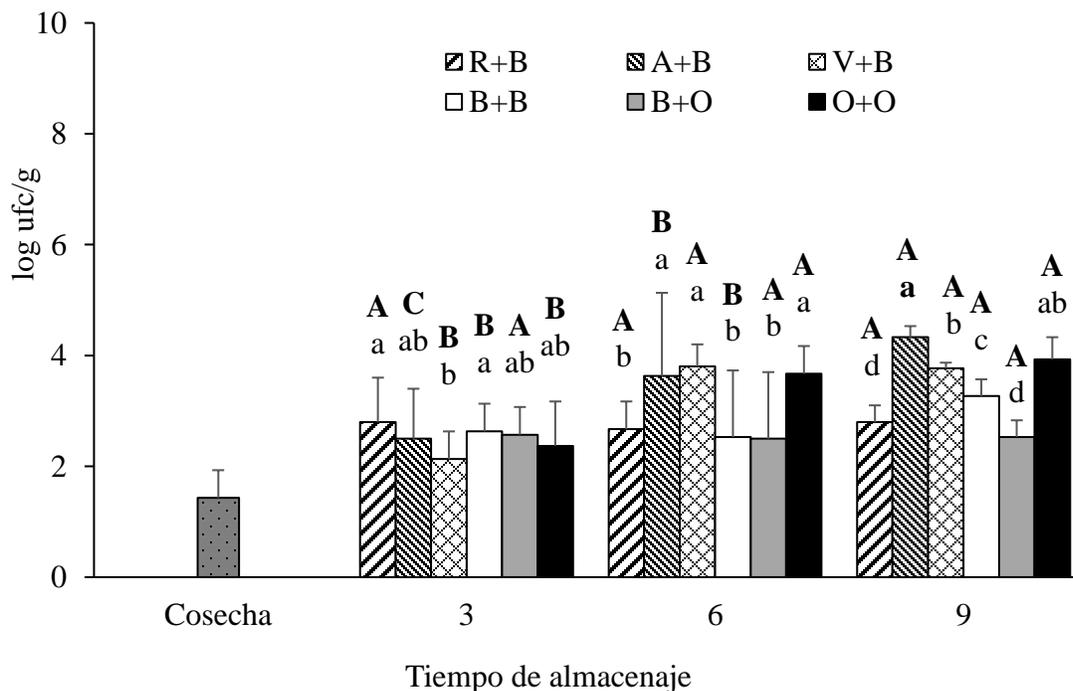


Figura 16. Recuento de mesófilos de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a tres repeticiones.

1.4.5.2. Recuento de enterobacterias. Tras aplicar los diferentes tratamientos se encontró una interacción significativa entre los factores estudiados (Apéndice I, Cuadro 12). Al tercer día hubo un menor crecimiento de enterobacterias en B+O, O+O y con valores de 1,27 a 1,20 log ufc /g mientras que en V+B, R+B, A+B y B+B los recuentos fueron de 2,43 a 2,93 log ufc/g (Figura 17). Al sexto día se presentó un aumento de los recuentos siendo los valores más bajos en los tratamientos A+B, A+V y O+O con 2,50 y 2,87 log ufc/g en comparación con R+B B+O y B+B de 3,33 a 2,90 log ufc /g. Tras 9 días de almacenamiento V+B tuvo el menor recuento de 2,37 log ufc /g respecto al resto de los tratamientos; en tanto, los mayores recuentos fueron alcanzados en R+B con 3,71 log ufc /g. Por otro lado, se observó que la aplicación de V+B redujo los recuentos en 0,5 log ufc/g entre el día 6 y 9.

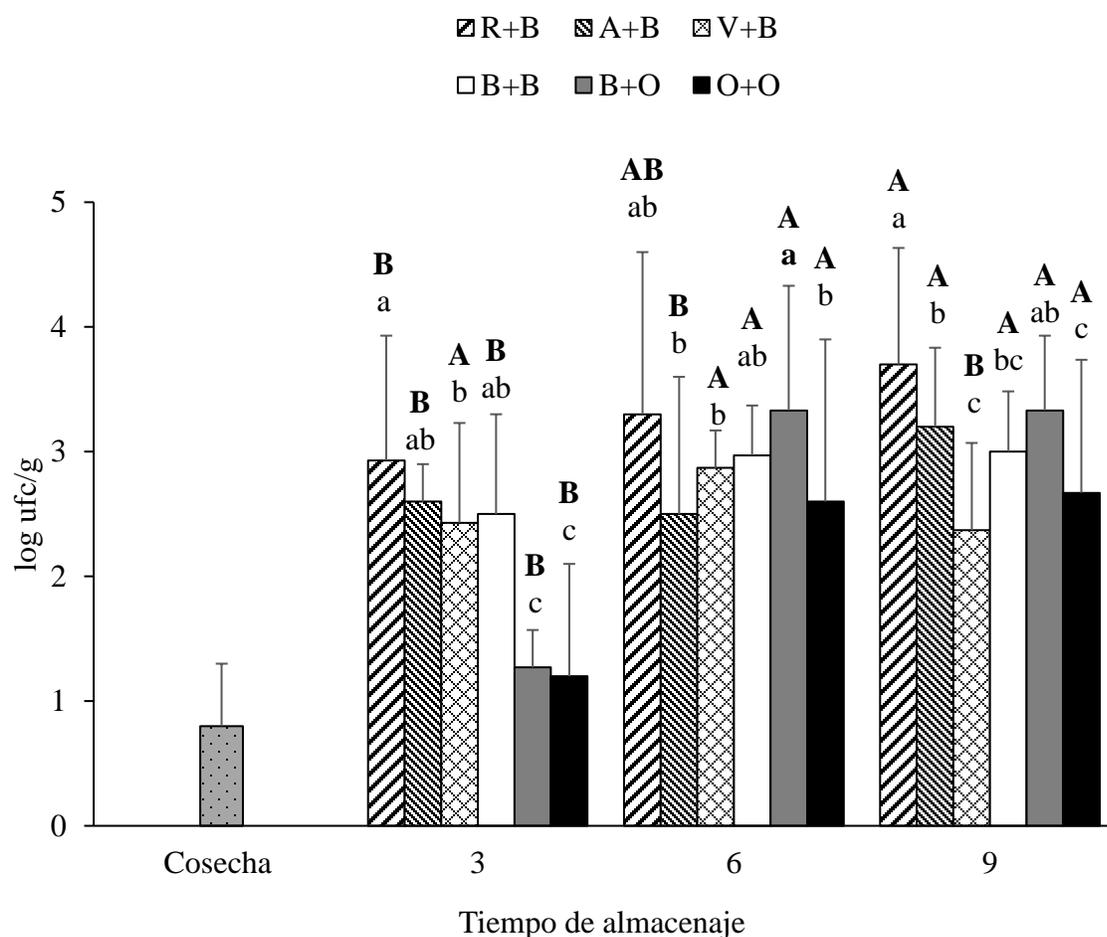


Figura 17. Recuento de enterobacterias de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a tres repeticiones.

1.4.5.3. Recuentos de psicófilos. Se encontró una interacción significativa entre los factores evaluados (Apéndice I, Cuadro 13). A los tres días hubo mayores recuentos en V+B y B+B con valores de 2,27 a 2,67 log ufc/g, mientras que en A+B, O+O, R+B y B+O se obtuvo 1,27 a 1,6 log ufc /g (Figura 18). Al sexto día los tratamientos B+O, O+O, V+B y R+B obtuvieron los valores más altos de 5,03 a 5,63 5 log ufc/g. Este día los valores más bajos se obtuvieron en B+B y V+B con 4,63 y 4,7 log /g, respectivamente. A los nueve días los mayores recuentos fueron en O+O; A+B, y B+O con valores de 6,1 a 6,2 log ufc/g, mientras que R+B, V+B y B+B tuvieron menores recuentos de bacterias psicófilas con 5,3 a 5,5 log ufc/g respectivamente.

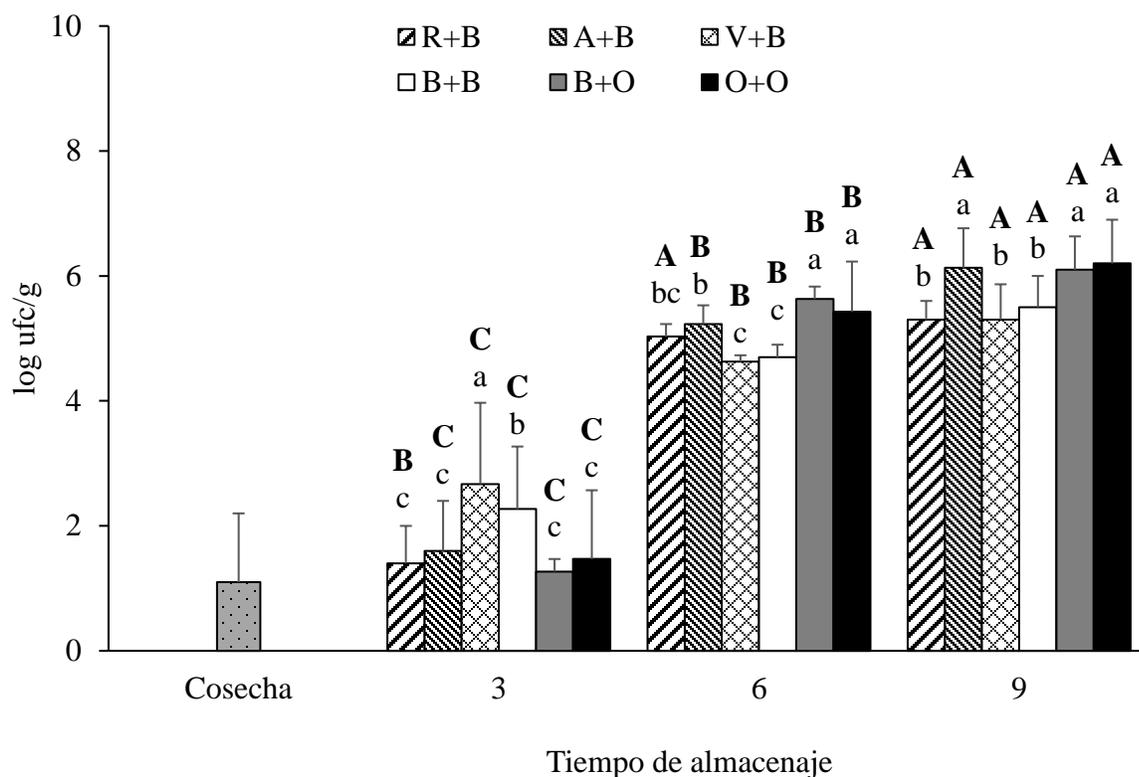


Figura 18. Recuento de psicófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles de factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a tres repeticiones.

DISCUSIÓN

Experimento 1

Parámetros físicos

Pérdida de peso. Tras realizar este primer experimento, se encontró que la iluminación de las hojas de rúcula con los espectros de luz roja, azul y blanca afectó negativamente el parámetro pérdida de peso. Las hojas bajo luz verde mostraron menores pérdidas de peso y similares a las condiciones con oscuridad. Estos resultados, podrían deberse a que el espectro de luz verde interviene de manera discreta en distintos procesos fisiológicos durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, teniendo un efecto sobre la conductancia estomática (Zhang y Folta, 2012; Lanoue *et al.*, 2018). Según estos mismos autores bajo esta luz se disminuiría la apertura de las estomas provocando menor transpiración de las hojas, efecto que resultaría contrario cuando las hojas son tratadas con luz roja lejana y azul. Estos espectros modularían fuertemente la inducción de la apertura estomática vía fotoreceptor zeaxantina. Así los resultados encontrados en este estudio concordarían con lo realizado por Rufyikiri (2018), quién encontró que los espectros de luz roja y azul a 50, 100 y 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ favorecen la apertura estomática de espinacas y kale. Adicional este mismo autor encontró en este mismo estudio, que las plantas de kale y espinaca mantenidas bajo espectro de luz verde en longitudes de onda de 500 y 560 nm (50-55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por fotoperiodos de doce horas durante seis días a 20°C y 50% HR, mantuvieron la calidad visual y redujeron la pérdida de humedad respecto a las tratadas con oscuridad y luz blanca fluorescente. Pintos *et al.* (2020) estudiaron el efecto de la iluminación blanca (LED de 30 Watts por m^{-2} a tres intensidades de luz) sobre floretes broccoli envasados en envases de PVC en condiciones de venta minorista a 5°C encontrando que una intensidad media (9,5 W m^{-2}) y alta (19,0 W m^{-2}) de luz blanca continua tuvo mayores pérdidas de peso respecto a floretes en oscuridad. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en nuestro experimento en luz blanca continua donde se perdió un 5,4% peso respecto a B+O y O+O con valores de 2,8% y 1,4%, respectivamente.

Atmósfera dentro de las bolsas. En este experimento no se generó una modificación relevante de las atmósferas respecto al aire dentro de las bolsas con hojas de rúcula tratadas con luz. Estos resultados tienen similitud con los encontrados por Garrido *et al.* (2016), quienes encontraron que la aplicación de luz durante la postcosecha de hojas de espinacas envasadas en bolsas plásticas, provocó una leve modificación en la atmósfera interior, comparadas con las que fueron almacenadas en oscuridad. Estos autores sugieren que este comportamiento ocurriría porque el oxígeno consumido en la respiración sería compensado por el producido a través de la fotosíntesis de las hojas, generando una atmósfera alta en O_2 y pobre en CO_2 .

Condensaciones. Las condensaciones encontradas dentro de las bolsas expuestas a las luces LED podrían estar asociado al efecto de la luz, variaciones de temperatura dentro de las cámaras de luces como se observa en el Cuadro 15 (Apéndice I). La luz activaría la apertura estomática permitiendo la salida del vapor de agua de las hojas (Rufyikiri, 2018; Taiz y Zeiger, 2002). Estos resultados también concuerdan con los reportados por Xiao *et al.* (2014)

en microgreens de rábano en bolsas plásticas tratadas con luz fluorescente a una intensidad baja de $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y almacenados 16 días a 5°C . Finalizado este estudio también se observaron condensaciones dentro las bolsas plásticas las cuales según estos corresponderían a una alta tasa de transpiración asociada al efecto de las luces.

Color. Los valores de la luminosidad no se vieron afectados durante los tres primeros días de almacenamiento, sin embargo, a partir del sexto día hubo cambios significativos con luz azul y verde. Tras 9 días el aumento de la luminosidad en las hojas expuestas a luz LED continua (R+B, A+B, V+B, B+B) podría estar relacionado como menciona Wang *et al.* (2016) por un aumento del volumen cloroplástico debido a la lipo-agregación provocada por la luz azul. Kasim y Kasim (2016) reportaron que espectros de luz LED azul y verde aplicados de forma continua a intensidad de $10 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^{-2}$ presentaron hojas de lechuga con valores de luminosidad más altos. En el caso del tono las hojas tratadas con luz LED continua fueron similares entre ellos y significativamente inferiores a los tratamientos con oscuridad. Estos resultados difieren de los encontrados por Favre *et al.* (2018) con luz blanca empleando lámparas fluorescentes a distintas intensidades entre $20\text{-}25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en ciclos (0,5, 1 y 2 h) en floretes de brócoli a 20°C por 4 días. Estos autores encontraron una menor disminución en el tono en todos los tratamientos con luz comparados con oscuridad (control) mostrando que la luz blanca retrasó la senescencia de los floretes de brócoli. La saturación aumentó significativamente para todos los tratamientos con luz continua, respecto a las condiciones con oscuridad tal como lo reportó Kasim y Kasim (2016). Estos autores observaron un aumento de la saturación en lechugas almacenadas por 21 días bajo luz LED roja, verde, azul y blanca, comparadas con el tratamiento control.

Textura. Al exponer las hojas de rúcula a temperatura ambiente pudo favorecerse algo de deshidratación no cuantificada al momento de la determinación lo cual pudo haber generado una pérdida de turgor y tal como señaló Løkke (2012) los tejidos vegetales dependen de la pared celular, turgencia y de la estructura de los tejidos. Esto coincidiría también con las mayores pérdidas de peso en los tratamientos durante 10 días a 4°C cultivadas bajo mallas de color rojo presentaron valores más altos de firmeza que aquellas bajo color gris y el control sin malla (Lara 2019).

Daño celular. El mayor porcentaje de daño celular estuvo en las hojas tratadas bajo R+B, A+B, V+B y B+B lo que concuerda con los resultados encontrados por Smart (1994) quien señaló que la senescencia en la hoja está influenciada por un complejo grupo de factores endógenos como la edad y hormonas. Este autor menciona que las condiciones de luz, sequía, temperatura extremas e infecciones por patógenos hacen las hojas amarillas producto de la fotoinhibición y degradación de la clorofila. También, Wang *et al.* (2013) encontraron que la suplementación con luz roja (610 nm) y azul (435 nm) a intensidades de $30\pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en dos variedades de *Vitis vinifera* ('Italia' y 'Centennial Seedless') favoreció la senescencia de las hojas durante su cultivo en invernadero. Estos autores encontraron anomalías citológicas en las hojas con una disminución en la cantidad y tamaño de plastoglobulos en el estroma de los cloroplastos. Este resultado sería una señal de senescencia en ambas variedades al estar expuestas a luz azul mostrando síntomas tempranos de senescencia debido al aumento en el volumen de cloroplastos por una mayor agregación de lipoides.

Parámetros químicos

Concentración de fenoles totales. A partir de los 6 días de almacenamiento los valores aumentaron con bajo luz verde y luz blanca + oscuridad. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jin *et al.* (2015) al tratar floretes de brócoli con luz fluorescente y verde a intensidades entre 12–13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 12 horas, durante dos días a $25\pm 1^\circ\text{C}$ y 95% HR. Estos autores observaron que los floretes con luz verde presentaron valores significativamente más altos que los tratados con luz fluorescente y el testigo debido probablemente a la activación de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), clave en la ruta de los fenilpropanoides. A los 9 días la concentración aumentó en la mayoría de los tratamientos con luz, comparados con oscuridad permanente. Según Lee *et al.* (2014) los espectros de luz LED roja y azul estimularían significativamente la producción de compuestos fenólicos en germinados de alforfón común y de tartaria.

Capacidad antioxidante. Al analizar los tratamientos el día seis la luz roja y azul presentaron los valores más altos y resultarían ser efectivas para estimular la acumulación de metabolitos secundarios en los tejidos vegetales (Ahmad *et al.*, 2016). Al final del almacenamiento la mayoría de los tratamientos con luces presentaron una disminución de la capacidad antioxidante probablemente por efecto del estrés oxidativo generado por los espectros que acelerarían la senescencia de las hojas. En el mismo periodo O+O tuvo una menor capacidad y bajo luz roja fue mayor remarcando el efecto de los espectros sobre la composición fitoquímica de las plantas.

Concentración de clorofila total. Durante los seis primeros días del almacenaje no hubo cambios significativos en este parámetro. Al noveno día se pudo detectar una disminución significativa en R+B, A+B, V+B y B+B coincidiendo con un estudio de Glowacz *et al.*, (2014) que observaron una reducción en el contenido de clorofila en hojas de espinacas baby bajo luz continua luego de siete días a 1°C en comparación a oscuridad. Estos investigadores señalan un efecto causado por estrés lumínico como causa de la degradación de la clorofila acompañado con la generación de especies reactivas de oxígeno. En este mismo sentido Yamauchi y Watada (1998) señalan que la degradación de la clorofila provoca amarillamiento en las hojas.

Análisis microbiológico. Durante el almacenamiento de las hojas de rúcula se pudo ralentizar el crecimiento microbiano dependiendo del espectro de luz y tipo de microorganismo. Los espectros rojos, verdes y blanco disminuyeron los recuentos de mesófilos respecto a oscuridad permanente. Paralelamente, se obtuvo un menor crecimiento de enterobacterias cuando las hojas fueron irradiadas con el espectro de luz verde, respuesta que no ocurrió con los otros espectros y condiciones de luz aplicados. Por otro lado, al alcanzar los tres días de almacenaje las hojas irradiadas con luz LED roja, azul, y oscuridad (B+O y O+O) tuvieron un menor crecimiento de psicrófilos que bajo luz verde y blanca continua. Según Kasim y Kasim (2016) se redujo la pudrición en hojas de lechuga tratadas con luz LED verde, roja y blanca y almacenadas 21 días a 5°C . En este mismo sentido Nagendran y Lee (2015) también reportaron la reducción de *Pseudomonas cichorii* en semillas de tomates expuestas a luz LED verde y roja comparadas con luz blanca y oscuridad permanente. Estos resultados apuntarían a que el espectro de luz podría inducir daño celular, lesiones y muerte de microbios a través de mecanismos como la generación de especies

reactivas de oxígeno por medio del fenómeno fotodinámico de inactivación bacteriana (D'Souza *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES EXPERIMENTO 1

- El espectro de luz verde se puede emplear como una herramienta útil para reducir la pérdida de peso en hortalizas de hojas durante el almacenamiento postcosecha permitiendo una mayor vida útil.
- Las lámparas de luces LED durante almacenamiento postcosecha generan altas temperaturas provocando condensaciones dentro de las bolsas plásticas.
- Las luces LED roja, azul, verde y blanca permiten mantener el color en hortalizas de hojas verdes durante su almacenamiento postcosecha.
- Las luces LED permiten preservar y aumentar los compuestos funcionales en hortalizas de hojas durante su almacenamiento postcosecha.
- El uso de luces LED puede modificar el crecimiento microbiológico de forma positiva o negativa cuando son aplicadas durante almacenamiento postcosecha.

RESULTADOS

1.5. Experimento 2

1.5.1. Caracterización inicial de la materia prima

Las hojas de rúcula al momento de la cosecha presentaron una longitud de 7,0 a 12,0 cm y un peso de 1,12 a 1,28 g. El color de las hojas tuvo una luminosidad de 38,0 a 39,6; el tono de 110,9 a 111,9 y una saturación de 38,8 a 40,4. Los valores de textura de las hojas fueron 1,5 a 2,1 N; en tanto daño celular fue entre 3,5 y 4,5% respectivamente. En tanto, la concentración de fenoles totales fue de 5,5 a 6,1 mg EAG/g pf, la capacidad antioxidante por FRAP entre 962,0 y 1.067,4 $\mu\text{g ET/g pf}$; la capacidad antioxidante por DPPH fue de 818,2 a 920,9 $\mu\text{g ET/g pf}$ y el contenido de clorofila total entre de 3,31 a 3,43 mg /g pf. En tanto el recuento de mesófilos fue de < 1 a 2,7 log ufc/g y para los psicrófilos de 1,9 a 2,1 log ufc/g. Respecto a los recuentos de enterobacterias los conteos fueron menores a 1 log ufc/g.

Cuadro 7. Caracterización física, químicas y microbiológica de las hojas de rúcula al momento de la cosecha.

¹ Parámetros físicos	Valor	² Parámetros químicos	Valor	³ Recuento microbiológico	Valor
Tamaño de hojas (cm)	9,5 \pm 2,5	CFT (mg EAG/ g pf.)	5,8 \pm 0,3	Mesófilos (log ufc/g)	1,7 \pm 1,0
Peso (g)	1,2 \pm 0,1	CAT por FRAP (mg ET / g pf)	1.014,7 \pm 52,7	Psicrófilos (log ufc/g)	2,0 \pm 0,1
Color (L*)	38,8 \pm 0,8	CAT por DPPH ($\mu\text{g ET/g pf}$)	869,7 \pm 51,5		
(H _{ab})	111,4 \pm 0,4				
(C*)	39,6 \pm 0,8				
Textura (N)	1,8 \pm 0,3	CTC (mg /g pf)	3,37 \pm 0,0		
Daño celular (%)	4,0 \pm 0,5				

¹Los promedios corresponden a 4 réplicas de 20 hojas al azar por cada una de las repeticiones.

²Los promedios corresponde 4 réplicas de 10 gramos de hojas frescas.

³Los promedios corresponden a 3 réplicas de 5 gramos de hojas frescas.

1.5.2. Parámetros físicos

1.5.2.1. Pérdida de peso. Se detectó una interacción significativa entre los factores estudiados (Apéndice II, Cuadro 1). Transcurridos 3 días de almacenaje, las mayores pérdidas de peso estuvieron bajo los tratamientos con A+V+B, R+V+B y B+B cuyos valores fueron de 5,3 y 3,7% (Figura 19), en tanto, las pérdidas menores se dieron en R+A+B, B+O y O+O en un rango de 3,3 a 1,2 %. Tras 6 días de almacenamiento, la pérdida de peso aumentó significativamente en el tratamiento R+V+B alcanzando un 9,0%. Sin embargo, las hojas bajo A+V+B, B+B, R+A+B presentaron pérdidas de 5,6 a 4,8%, no obstante, las menores pérdidas fueron bajo los tratamientos con oscuridad B+O y O+O con valores de 2,9 a 1,2%. Al día nueve las mayores pérdidas se dieron con R+A+B y R+V+B alcanzando de 10,9 y 10,1%. Por otro lado, pérdidas entre 7,4 y 6,7% fueron observadas en B+B y A+V+B, en tanto, las menores pérdidas se manifestaron con B+O y O+O con 4,2 y 3,9%, respectivamente. Se pudo observar que las hojas tratadas con la combinación A+V+B la pérdida se mantuvo en el tiempo, similar a lo ocurrido en oscuridad total, algo que no ocurrió en el resto de los espectros-condiciones de luz evaluados.

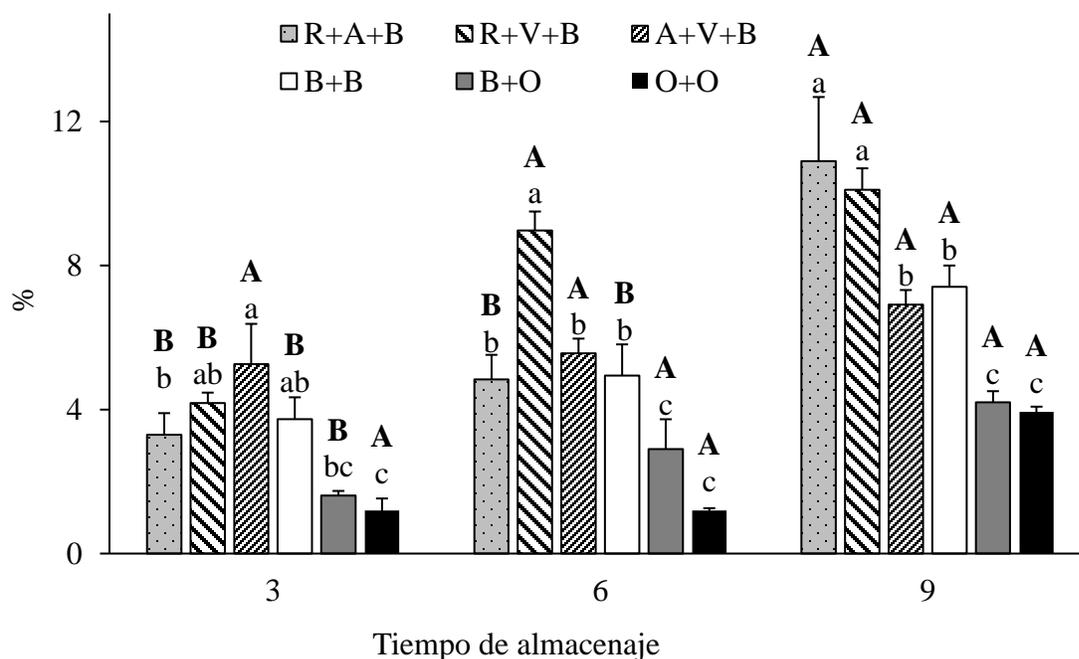


Figura 19. Pérdida de peso en porcentaje (%) de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedio corresponden a cuatro repeticiones.

1.5.2.2. Atmósfera dentro de las bolsas. Al evaluar la composición de las atmósferas, al tercer día de almacenamiento el porcentaje de oxígeno en aquellos tratamientos bajo luz fue de 19,5 a 21,1% y 0,0% de CO₂ (Apéndice II, Cuadro 15); no obstante, las bolsas bajo oscuridad continua presentaron valores menores de O₂ entre 12,9 y 14,2%, en tanto el CO₂ fue de 2,7 a 3,1%. Luego de alcanzar 6 días de almacenaje el porcentaje de oxígeno fue cercano a la del aire, detectándose valores entre 21,1 a 20,6% y 0,0 % de CO₂ en los tratamientos con luz LED, mientras que las bolsas almacenadas en oscuridad total tuvieron 12,6 a 14,2% O₂ y 1,2 % CO₂.

1.5.2.3. Condensaciones, temperaturas y humedad relativa. En este segundo experimento, también se presentaron condensaciones dentro de las bolsas, identificándose claramente en aquellas bolsas que fueron expuestas a las luces de manera similar al experimento 1. Respecto a las temperaturas, en los tratamientos con luz continua R+A+B, R+V+B, A+V+B y B+B se observaron las temperaturas más altas en promedio, siendo desde 5,1 a 8,7 °C y humedad relativa entre 75,9 a 92%. Sin embargo, en el tratamiento control (O+O), se presentaron las temperaturas más bajas de 3,9 a 4,1°C y humedad relativa mayor de 94 a 95,2% (Figura 20, Apéndice II, Cuadro 14).

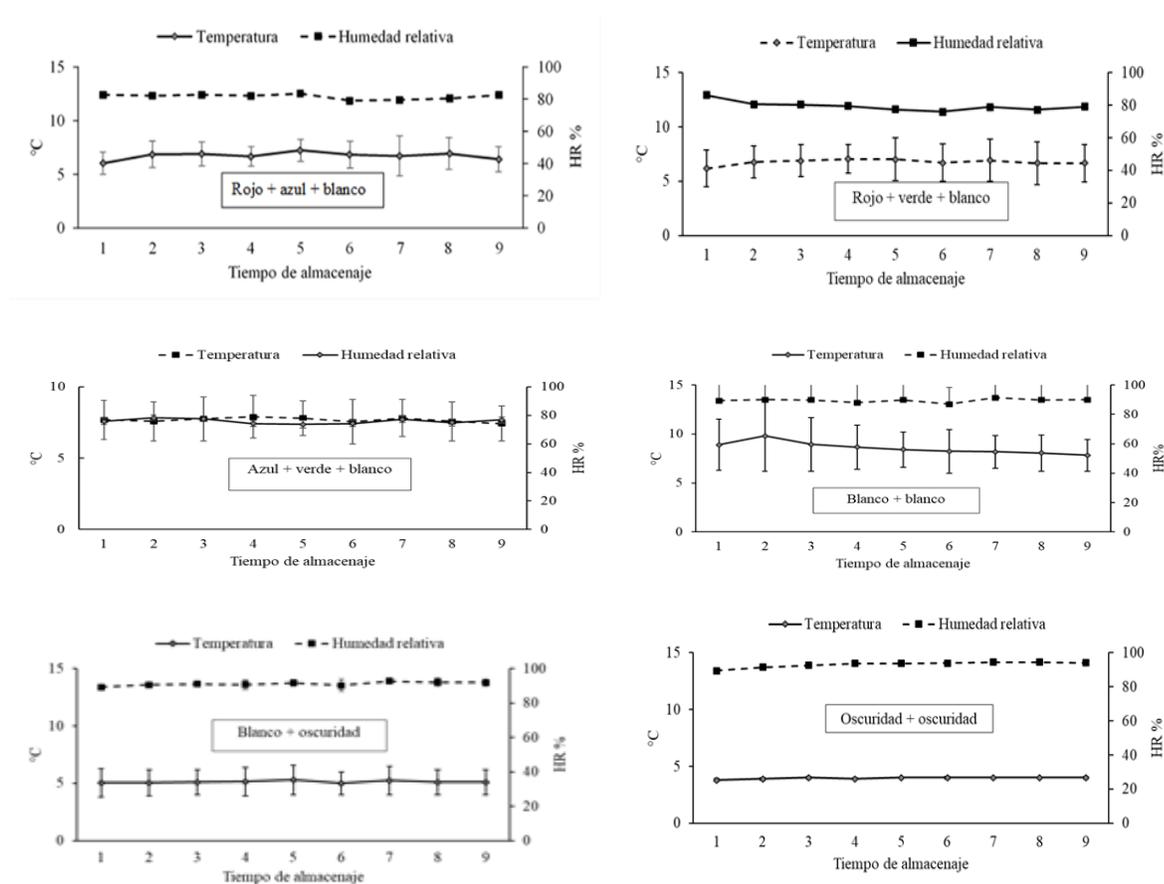


Figura 20. Temperatura y humedad relativa promedio registrada por día, según los espectro-condiciones de luz aplicados en hojas de rúcula durante su conservación en una cámara a 4°C. Experimento 2.

1.5.2.4. Textura. Los resultados mostraron que no hubo interacción entre los factores estudiados. Los valores medidos de fuerza máxima al corte de las hojas de rúcula estuvieron entre 1,8 a 2,7 N (Cuadro 8; Apéndice II, Cuadro 5).

Cuadro 8. Fuerza máxima (N) en hojas de rúcula, expuestas a distintos espectros-condiciones de luz almacenadas durante 9 días a 4°C

Tiempo de almacenaje		3	6		9	
		(N)				
		Medias ¹ NS	Medias ¹ NS	Medias ¹ NS	Medias ¹ NS	
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	2,2±0,2	R+A+B	2,2±0,2	R+A+B	2,3±0,3
	R+V+B	2,2±0,2	R+V+B	2,0±0,2	R+V+B	1,8±0,1
	A+V+B	2,7±0,1	A+V+B	2,3±0,2	A+V+B	2,1±0,2
	B+B	2,2±0,3	B+B	2,0±0,2	B+B	2,7±0,3
	B+O	2,2±0,2	B+O	2,5±0,3	B+O	2,4±0,2
	O+O	2,4±0,4	O+O	2,5±0,4	O+O	2,7±0,2
				¹ Cosecha	1,8±0,3	

¹ Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

² NS: no significativo.

1.5.2.5. Daño celular. Tras analizar los tejidos a los 9 días de almacenaje, se encontraron diferencias entre las hojas expuestas a las diferentes espectros-condiciones de luz. El mayor porcentaje de daño celular fue bajo el tratamiento R+A+B con valores de 81%, seguido de los tratamientos R+V+B, A+V+B, B+B y B+O con valores de 72 a 49%. El menor porcentaje de daño fue encontrado bajo la condición de oscuridad O+O con un valor de 34% (Figura 21).

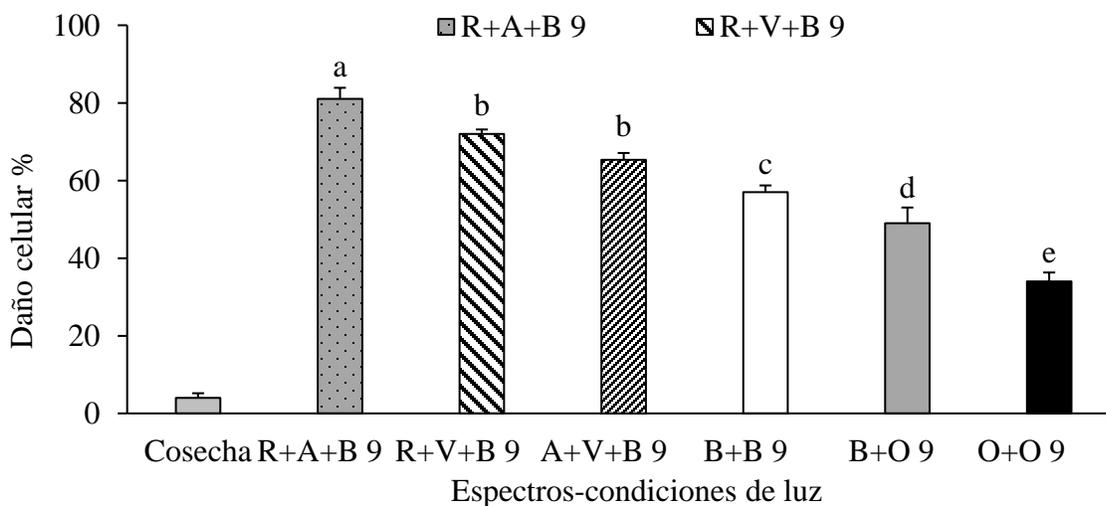


Figura 21. Porcentaje de daño celular en hojas de rúcula tratadas con distintos espectros-condiciones tras 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras diferentes sobre las barras, indican diferencias significativas entre tratamientos el día 9. Valores corresponden al promedio de tres repeticiones.

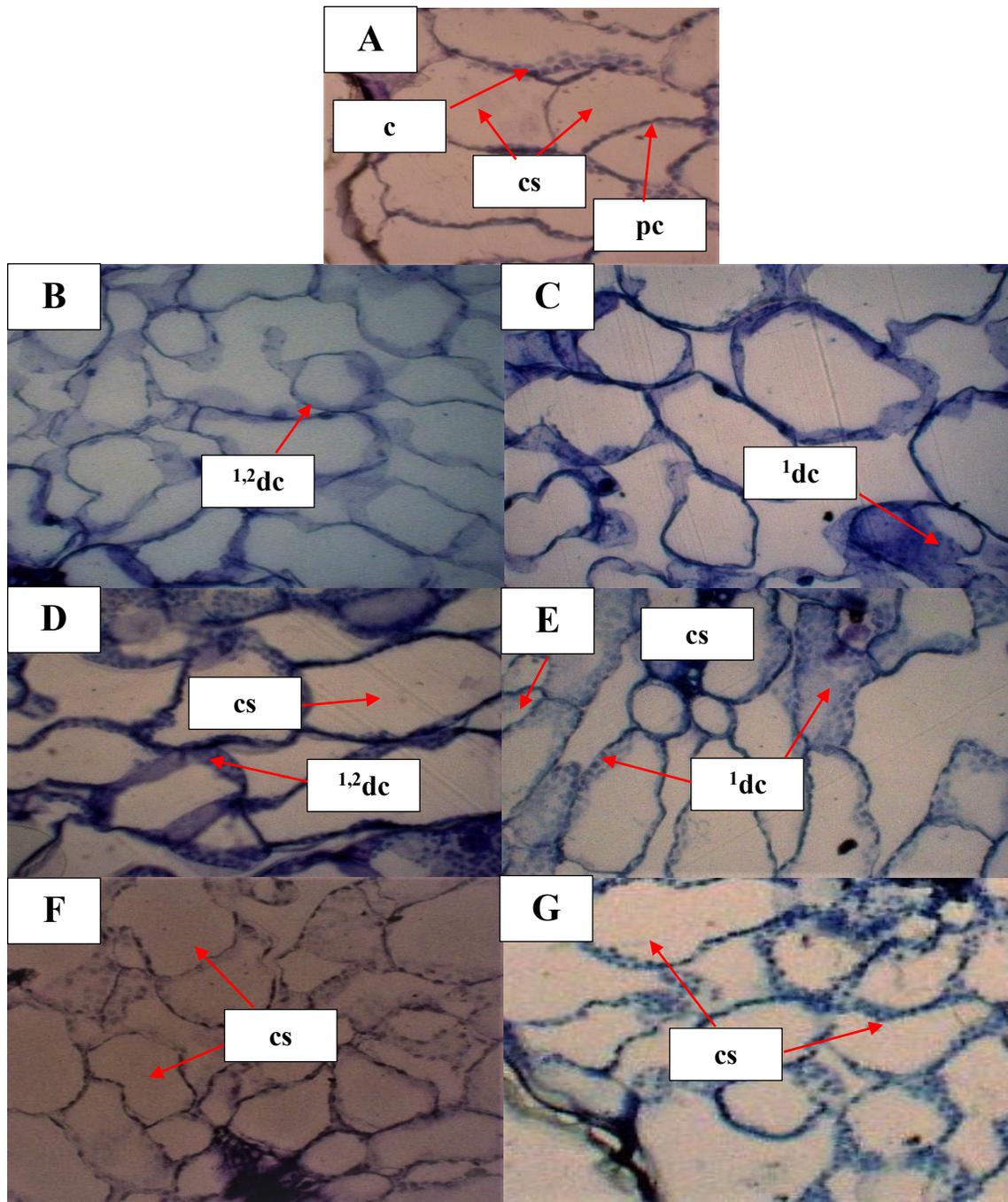


Figura 22. Micrografías (magnificadas a 400x) de células de hojas de rúculas al momento de la cosecha y tras 9 días de almacenamiento bajo diferentes espectros-condiciones de luz. Cosecha (A), R+A+B (B), R+V+B₉ (C), A+V+B₉ (D), B+B₉ (E), B+O₉ (F) y O+O₉ (G). c= cloroplastos, pc= pared celular, dc= daño celular (¹retracción citoplasmática y ²separación entre la pared celular y la membrana plasmática) cs= célula sana (pared celular, membrana plasmática intactas y cloroplastos en los bordes de las células).

1.5.3. Parámetros de color

1.5.3.1. Luminosidad. Hubo una interacción significativa entre los factores evaluados (Apéndice II; Cuadro 2). Al tercer día del experimento la luminosidad de las hojas fue similar estadísticamente para todos los tratamientos, donde los valores estuvieron entre 38,0 a 39,1. Tras seis días del almacenamiento, hubo un aumento de L^* significativo bajo los tratamientos B+B, R+V+B, R+A+B y A+V+B con valores entre 44,2 a 42,1. En cambio en el mismo periodo B+O y O+O tuvo valores de 38,9 y 37,7, significativamente inferiores en comparación a los otros tratamientos (Figura 23). Luego de 9 días se encontró que aquellas hojas bajo la combinación R+A+B y R+V+B presentaron los valores más altos de luminosidad con 53,6 y 53,3. En tanto, los tratamientos A+V+B y B+B presentaron valores de 47,0 y 45,1. Por otra parte y los tratamientos B+O y O+O fueron los más bajos. A medida que fue avanzando el experimento se pudo detectar que las hojas bajo la exposición de luz tuvieron un aumento progresivo de la luminosidad situación que no ocurrió con aquellas hojas almacenadas en oscuridad las cuales se mantuvieron sin cambios significativos.

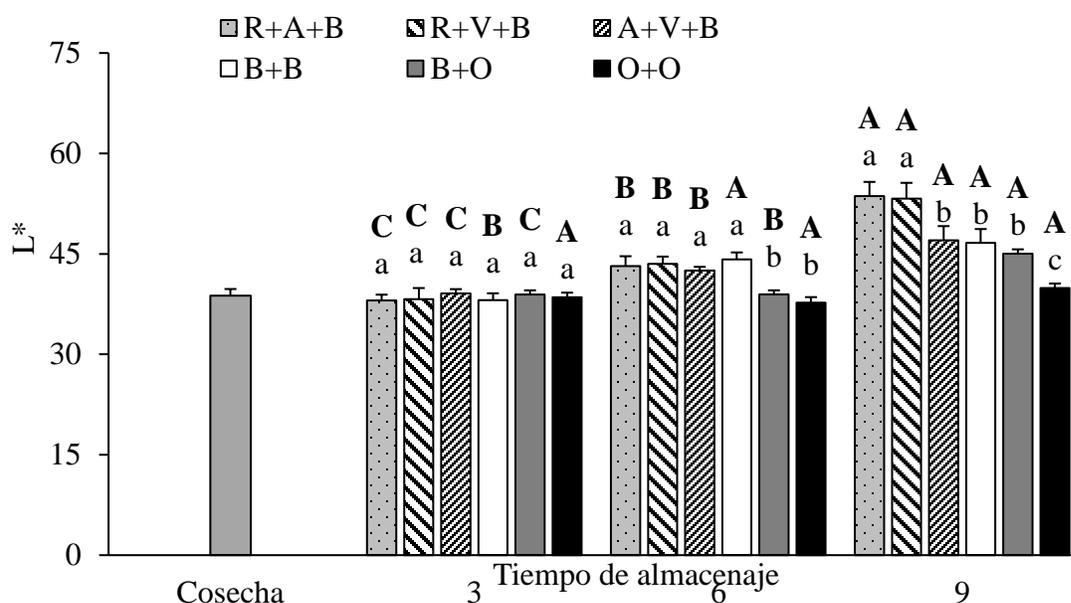


Figura 23. Evolución de la luminosidad del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles de factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones.

1.5.3.2. Tono. Al evaluar el tono se detectó una interacción significativa entre los factores. Luego de 3 días no hubo diferencias entre los tratamientos con valores de 109,5 a 111,4° (Figura 24). No obstante, el día 6 el tono fue similar en todos los tratamientos con luz presentando 108,2 y 110,8°; pero inferiores a O+O con 112,3°. Al día 9 los valores disminuyeron en los tratamientos R+V+B y R+A+B con valores de 102,8° y 102,7° respecto a B+O, B+B, A+V+B con valores de 108,4° a 107,3°. Por otro lado, el tratamiento O+O presentó el valor más alto de 111,6°. A través del tiempo de almacenamiento los valores fueron similares durante los seis primeros días.

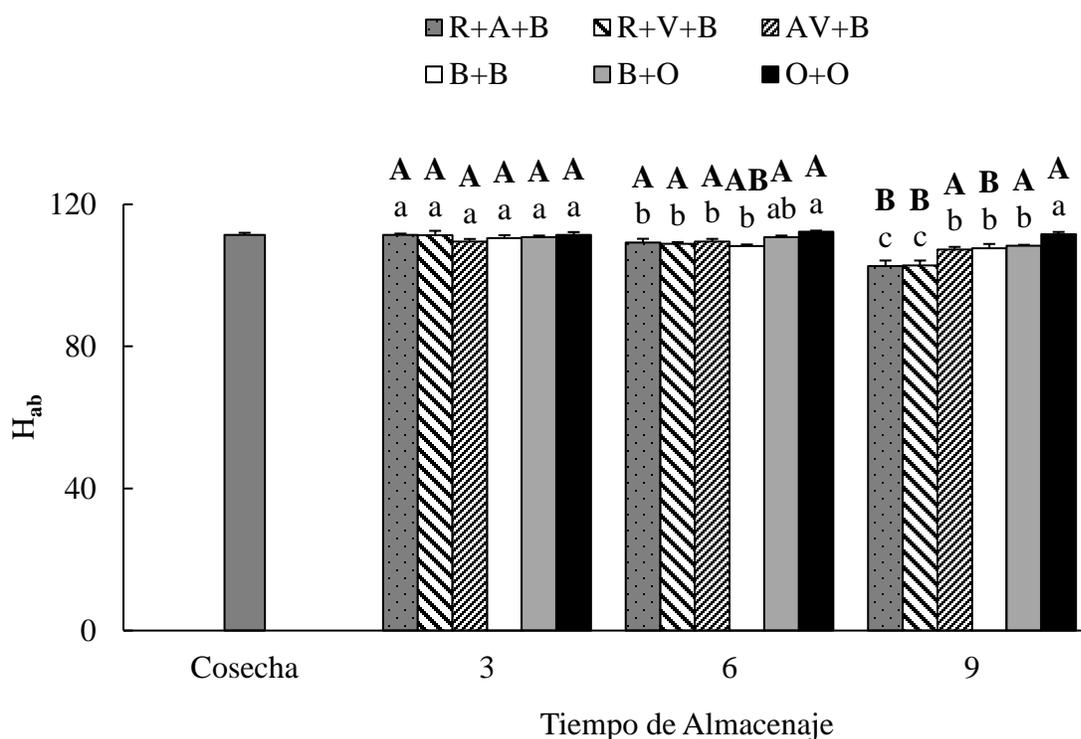


Figura 24. Evolución del tono del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones

1.5.3.3. Saturación. En la saturación del color se detectó una interacción significativa entre los factores evaluados. A los tres días de almacenaje solo se encontraron diferencias significativas entre A+V+B y O+O, pero el valor más alto fue en A+V+B con 45,2 y el valor más bajo con O+O de 40,3 respectivamente (Figura 25). Luego del sexto día, los valores más altos se encontraron en R+V+B, B+B, R+A+B y A+V+B con 46,3 a 42,3. No obstante, valores inferiores se detectaron en B+O y O+O con 41,5 y 37,9. Al día nueve los tratamientos R+A+B y R+V+B tuvieron los valores más altos entre 50,7 y 50,4 comparado con el resto de los tratamiento con presencia de luz, pero las hojas mantenidas en oscuridad (O+O) fueron las que tuvieron los valores de la saturación más bajo de 38,1. En cuanto al comportamiento de cada espectro-condición de luz en el tiempo se pudo observar que los valores fueron estables al menos durante 6 días para luego sufrir cambios el día nueve. Por otra parte, visualmente se notó un amarillamiento de las hojas a partir del día 6 tal como observa en la Figura 26.

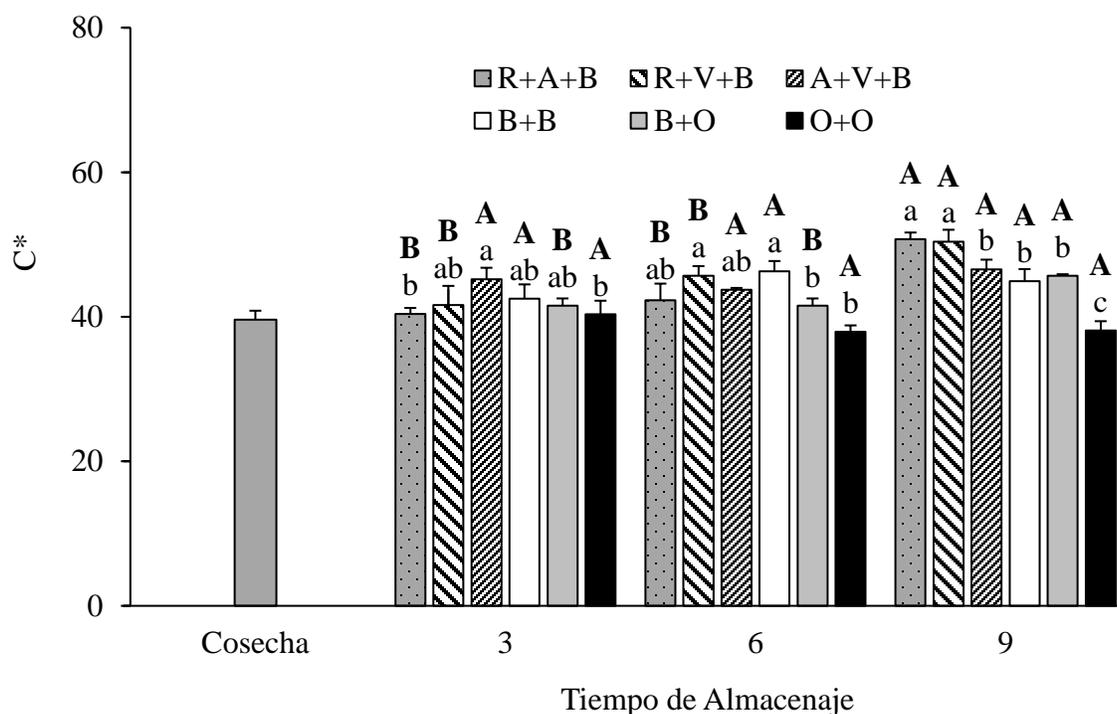


Figura 25. Evolución de la saturación del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones.



Figura 26. Evolución del color en distintos momentos y el efecto de los distintos espectros-condiciones de luz sobre hojas de rúcula tamaño baby almacenadas en refrigeración por nueve días. Experimento 2.

1.5.4. Parámetros químicos

1.5.4.1. Concentración de fenoles totales (CFT). No se encontró una interacción significativa entre los factores evaluados donde ambos factores tuvieron efecto de manera independiente. Las concentraciones más altas se encontraron en las hojas bajo O+O y B+O con valores de 6,3 y 6,1 mg EAG/g pf (Figura 27). Mientras que la concentración más baja fue con R+V+B con 5,6 mg EAG/g pf. Respecto al tiempo de almacenaje, las concentraciones fueron superiores para todos los tratamientos el día 6 y 9 con un promedio de 6,1 a 6,2 mg de EAG/ g pf en contraste con el día 3 que fue de 5,4 mg EAG/g pf.

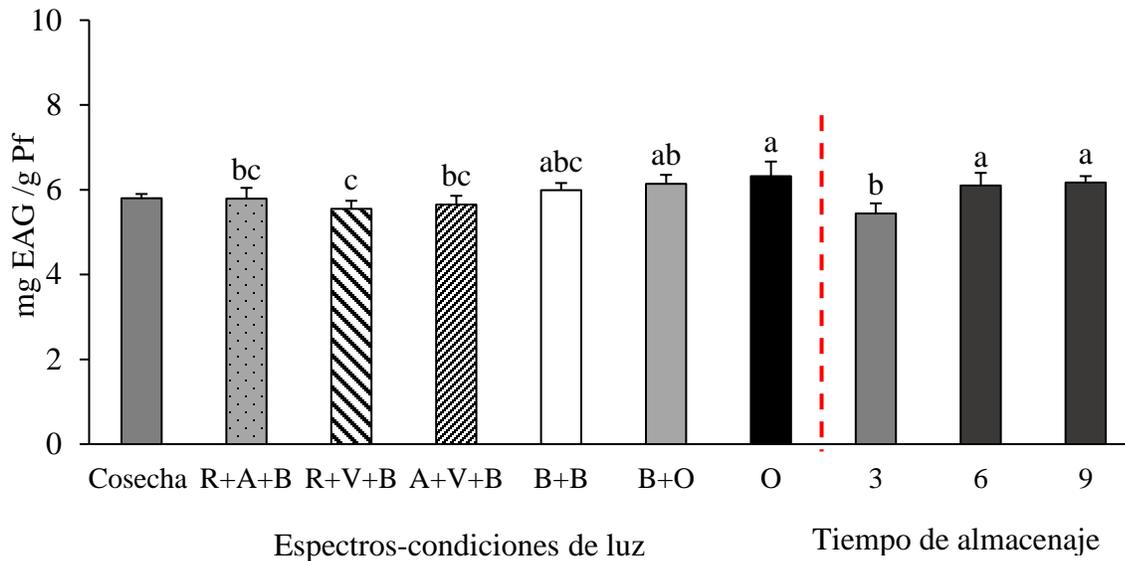


Figura 27. Concentración de fenoles totales de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras distintas sobre las barras, indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor de manera independiente. Los valores corresponden al promedio de cuatro repeticiones.

1.5.4.2. Capacidad antioxidante por FRAP. Se detectó una interacción significativa entre los factores estudiados. Tras los tres primeros días de almacenaje los valores más altos fueron observados en B+O y B+B alcanzando 1.531,3 y 1.433,3 μg ET/g pf (Cuadro 9), no obstante, el valor más bajo fue de 985,5 μg ET/g pf en R+V+B. Al día 6 los mayores valores de capacidad antioxidante estuvieron en B+O y O+O en el rango de 2.073,0 a 1.669,7 μg ET/g pf y la concentración más baja fue de 1.205,8 μg ET/g pf para el tratamiento R+A+B. Al noveno día las hojas mantenidas bajo B+B tuvieron la mayor capacidad antioxidante de 1.615,5 a 1.205,8 μg ET/g pf. En el mismo periodo la menor capacidad se encontró en el tratamiento R+A+B con 1.274,5 μg ET/g pf. Tras analizar cada espectro-condición de luz en el tiempo, se pudo observar que las hojas de rúcula almacenadas bajo B+O y O+O presentaron fluctuaciones en la capacidad antioxidante entre el día 3 y 9, aumentando al sexto día para luego disminuir considerablemente. También bajo R+A+B el comportamiento varió disminuyendo al día 6 para luego subir la capacidad antioxidante al día 9. En cuanto a los espectros-condiciones R+V+B, B+B, A+V+B se encontró un aumento a través del tiempo en las hojas tratadas.

1.5.4.3. Capacidad antioxidante por DPPH. También se encontró una interacción significativa entre los factores evaluados (Cuadro 9, Apéndice II, Cuadro 9). Tras 3 días de almacenamiento las hojas en R+A+B y R+V+B tuvieron la mayor capacidad antioxidante con valores de 1.108,7 a 1.037,8 $\mu\text{g ET/g pf}$; no obstante, el valor más bajo fue con B+O de 760,0 $\mu\text{g ET/g pf}$. Al día 6 el tratamiento R+A+B tuvo una mayor capacidad antioxidante de 1.060,0 $\mu\text{g ET/g pf}$, sin embargo, en B+O los valores fueron los más bajos con 440,9 $\mu\text{g ET/g pf}$. Al día 9 se detectó un aumento significativo en las hojas bajo B+O de 927,9 $\mu\text{g ET/g pf}$ comparado con R+A+B con los valores más bajos 495,1 $\mu\text{g ET/g pf}$. Por otro lado, las hojas expuestas a R+V+B presentaron una disminución progresiva durante los 9 días de unos 354,2 $\mu\text{g ET/g pf}$ respectivamente.

Cuadro 9. Capacidad antioxidante total por FRAP y DPPH de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Tratamientos	FRAP	DPPH
	$\mu\text{g ET/g pf}$ Medias	
Día 3		
R+A+B	1.350,9 \pm 25,0A bc	1.037,8 \pm 53,5A a
R+V+B	985,5 \pm 25,7C e	1.108,7 \pm 15,4A a
A+V+B	1.224,7 \pm 11,8C d	886,7 \pm 41,0A b
B+B	1.433,3 \pm 38,2B b	885,1 \pm 56,1A b
B+O	1.531,3 \pm 24,4B a	760,0 \pm 13,5B c
O+O	1.330,5 \pm 23,4B c	885,9 \pm 17,3A b
Día 6		
R+A+B	1.205,8 \pm 40,6B e	1.060,0 \pm 65,3A a
R+V+B	1.336,6 \pm 24,5B d	883,6 \pm 22,2B b
A+V+B	1.382,1 \pm 42,2B cd	922,8 \pm 12,1A b
B+B	1.438,2 \pm 41,8B c	969,3 \pm 48,5A ab
B+O	2.073,0 \pm 23,2A a	440,9 \pm 27,4C c
O+O	1.669,7 \pm 25,2A b	819,0 \pm 41,2A b
Día 9		
R+A+B	1.274,5 \pm 43,3A c	495,1 \pm 77,4B c
R+V+B	1.566,6 \pm 37,2A ab	683,6 \pm 60,6C b
A+V+B	1.481,9 \pm 27,6A b	623,6 \pm 30,4B b
B+B	1.615,5 \pm 39,4A a	920,8 \pm 41,4A a
B+O	1.531,5 \pm 27,7B ab	927,9 \pm 35,7A a
O+O	1.412,4 \pm 39,6B b	847,0 \pm 28,5A a
² Cosecha	1.014,7 \pm 52,7	869,7 \pm 51,6

¹Medias con letras minúsculas diferentes en sentido vertical en la misma columna indican diferencias significativas, entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B), $p < 0,05$, (n=4). Letras mayúsculas diferentes en sentido vertical en la misma columna indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A), $p < 0,05$ (n=4), \pm E.E.

²Valor de referencia al momento de la cosecha (n=4)

1.5.4.4. Concentración total de clorofila (CTC). Se detectó una interacción significativa entre los factores analizados (Apéndice II, Cuadro 10). Al tercer día de almacenaje no hubo diferencias entre los tratamientos con valores que estuvieron entre 3,03 a 3,33 mg clorofila total / g pf.. Transcurrido seis días tampoco se presentaron diferencias entre los tratamientos, detectándose los valores de 2,91 a 3,26 mg CT/ g pf. Al día 9 se observó que los tratamientos B+O y O+O fueron los que tuvieron la mayor concentración de clorofila con un rango de 3,26 a 3,25 mg CT/g pf. comparado con el resto de los tratamientos evaluados. Respecto a la evolución en el tiempo según espectros-condiciones de luz durante los 6 primeros días la concentración no varió para la mayoría de los tratamientos, excepto con A+V+B el cual disminuyó significativamente. A los nueve días de almacenamiento se observó una caída similar de la concentración de clorofila en todas las hojas irradiadas con luz continua de hasta 0,4 mg CTC/ g pf, comparadas con aquellas en oscuridad (Figura 28).

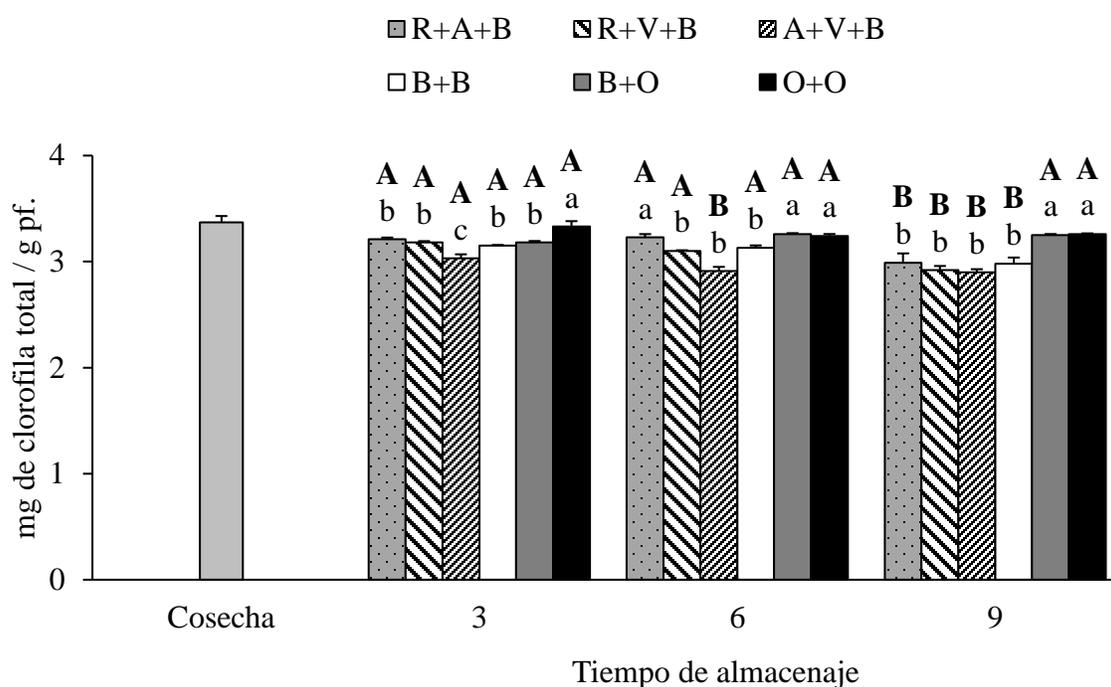


Figura 28. Concentración de clorofila total de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles de factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a cuatro repeticiones.

1.5.5. Análisis microbiológico

1.5.5.1. Recuento de mesófilos. Durante la evaluación el recuento de mesófilos presentó una interacción significativa entre los factores estudiados (Apéndice II, Cuadro 11). A los 6 días de almacenamiento el menor recuento se observó en B+O con 1,4 log ufc/g mientras que el más alto se dio bajo luz blanca (B+B) alcanzando 3 log ufc/g (Figura 29). En este mismo periodo hubo un menor crecimiento en el tratamiento B+O con 5,1 log ufc/g en tanto que los recuentos más alto se obtuvieron en A+V+B y fueron de 5,5 log ufc/g. Al día 9 de almacenamiento se registraron los recuentos más bajos en R+A+B y R+V+B con 5,6 a 6,4 log ufc/g, no obstante, los recuentos fueron mayores en B+B y O+O con 8,1 y 8,2 respectivamente. En tanto que los recuentos según cada espectro-condición de luz en el tiempo mostraron un aumento significativo y exponencial.

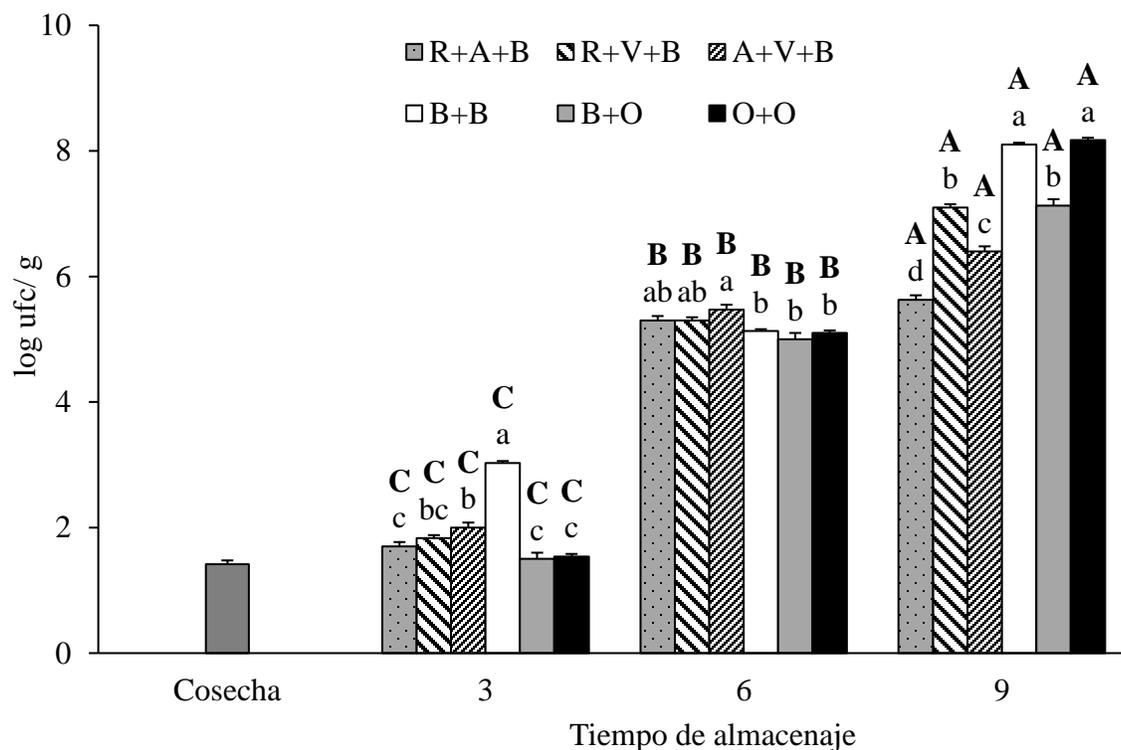


Figura 29. Recuento de mesófilos de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles de factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedios corresponden a tres repeticiones.

1.5.5.2. Recuento de psicrófilos. Se encontró una interacción significativa entre los factores evaluados (Apéndice II, Cuadro 12). A los tres días el valor más bajo fue para A+V+B con 1,7 log ufc/ g y el más alto para B+O₃ con 2,2 log ufc/ g. En el día seis días de almacenamiento los recuentos más bajos fueron en B+O, O+O y R+V+B con 2,2 a 2,3 log ufc/g no obstante O+O y A+V+B tuvieron los recuentos más altos de 6,6 a 3,1 log ufc / g. Tras nueve días, B+B presentó los recuentos más altos con 7,3 log ufc/ g mientras que O+O, B+O y R+A+B tuvieron los más bajos de 5,4 a 5,6 log ufc/ g. Por otro lado, las hojas tratadas con R+V+B, B+O y O+O no tuvieron un aumento significativo durante los 6 primeros días de almacenamiento en contraste con el resto de los tratamientos donde los recuentos aumentaron significativamente en el tiempo (Figura 30).

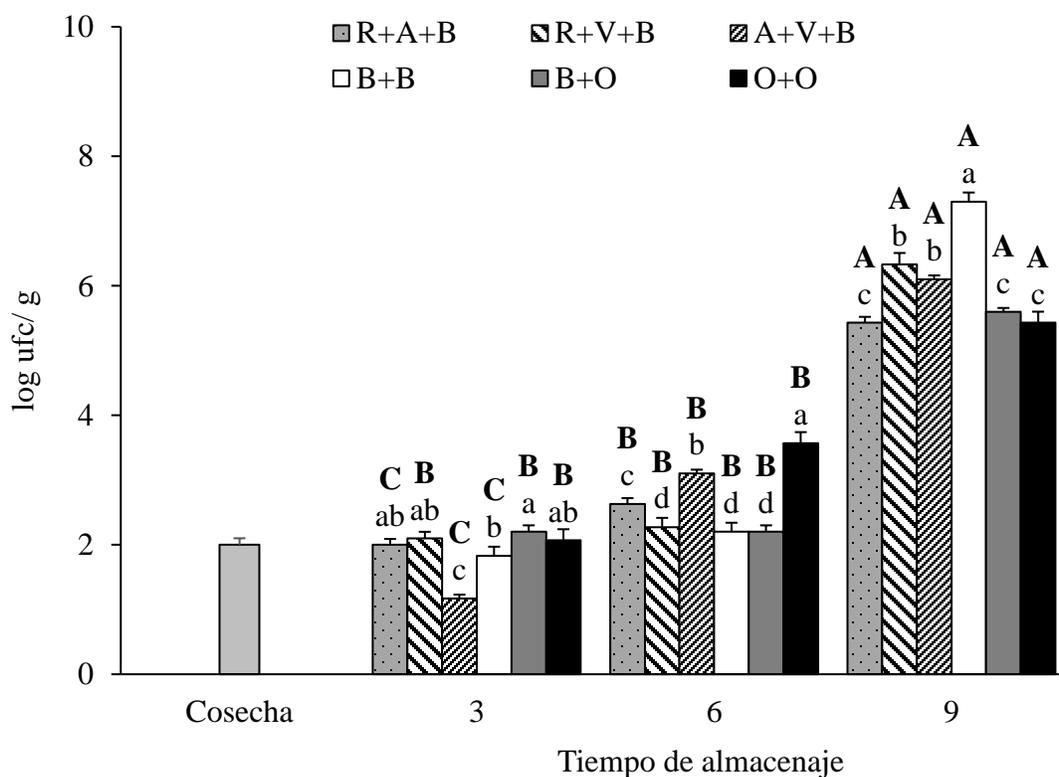


Figura 30. Recuento de bacterias psicrófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C. Letras minúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles de factor (A) dentro de un nivel del factor (B). Letras mayúsculas diferentes sobre las barras indican, diferencias significativas entre los niveles del factor (B) dentro de un nivel del factor (A). Los valores promedio corresponden a tres repeticiones.

DISCUSIÓN

Experimento 2.

Parámetros físicos

Pérdida de peso. En este segundo experimento, los resultados mostraron un aumento significativo de la pérdida de peso en ahojas de rúcula expuestas a la combinación de espectros de luz incluyendo la blanca continua, comparados con los tratamientos en oscuridad. Cabe señalar que las mayores pérdidas se alcanzaron en los tratamientos R+A+B y R+V+B llegando hasta el 10%. Esta respuesta se podría explicar de forma similar a lo que ocurrió en el experimento 1. En general la apertura estomática es inducida por factores como la presencia de luz y temperatura, concentración de CO₂ y la presión de vapor siendo la interacción de estos factores crucial para la pérdida de agua por vía estomática. En el caso de la inducción de la apertura estomática por iluminación se daría lugar a través de dos vías denominadas respuestas estomáticas de luz roja en los cloroplastos de las células de mesófilo y la respuesta estomática de luz azul en las células de guarda de la hoja (Matthews *et al.*, 2019).

En tanto Talbott *et al.* (2006) demostraron que la luz verde provocaría la inhibición del efecto de la luz azul en la apertura estomática lo que podría provocar que las hojas tratadas con A+V+B perdieran menos peso en el tiempo respecto a las tratadas con R+A+B y R+V+B respectivamente.

Atmósfera dentro de las bolsas. En este segundo experimento, también los niveles de oxígeno y dióxido de carbono dentro de las bolsas irradiadas con luces LED fueron muy cercanos a una atmósfera normal. Estos hallazgos coinciden con los resultados encontrados por Xiao *et al.* (2014) quienes sugieren que, en la presencia o aplicación de luz sobre tejidos verdes, aún embalados en películas transparentes, permitiría la actividad fotosintética, agotando el CO₂ y liberando el oxígeno.

Color. Respecto al color a los tres días no se presentaron diferencias entre ninguno de los tratamientos respecto a la luminosidad. Las diferencias se encontraron a partir del sexto día donde las hojas bajo luz tuvieron un aumento considerable de la luminosidad respecto a las hojas tratadas en oscuridad (B+O y O+O). A los 9 días los tratamientos R+A+B y R+B+B alcanzaron la mayor luminosidad mostrando una coloración amarilla. Esta coloración también se mostró en los tratamientos A+V+B y B+B. Estos resultados son contradictorios con los encontrados por Hasperué *et al.* (2016), quienes observaron una disminución de la luminosidad de color en floretes de brócoli tratados con luz blanca+azul en postcosecha, comparados con floretes en oscuridad. En relación a los parámetros de saturación y tono del color de las hojas en los primeros tres días no se registraron cambios significativos (Figura 24). No obstante, al sexto día de almacenamiento el aumento de la saturación y la disminución del tono en los tratamientos con luz evidenció el amarillamiento de las hojas. Al noveno día se observó una decoloración evidente donde sobresalieron las combinaciones R+A+B y R+V+B. Estos resultados son similares a los encontrados por Kasim y Kasim (2012) quienes

irradiaron hojas de acelga utilizando dos intensidad y oscuridad como control durante un almacenamiento de 14 días a 5°C a 85-90% HR. En este estudio se observaron que la luz afectó significativamente el color de las hojas de acelga luego de siete días de almacenaje, disminuyendo progresivamente el tono en hojas bajo luz. De esta forma estos autores concluyen que la luz durante la postcosecha de hojas verdes promueve la degradación de la clorofila y el amarillamiento acelerando la senescencia.

Textura. En cuanto a la medición de textura, los valores no fueron diferentes estadísticamente entre los tratamientos evaluados. En general los valores de la textura medidos como fuerza máxima para corte fueron superiores a los reportados en el experimento 1, lo que podría estar asociado a una mayor pérdida de agua provocada por las luces y también al tiempo de espera durante las mediciones. No obstante, según Martínez-Sánchez *et al.* (2011) en lechugas romanas cortadas almacenadas por 10 días bajo diferentes condiciones de luz mediante lámparas fluorescentes con una intensidad de $6\pm 1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ la textura de las hojas fue similar bajo condiciones de luz y oscuridad.

Daño celular. Las distintas combinaciones de luces LED aplicadas durante la postcosecha de las hojas de rúcula causaron mayor porcentaje de daño que aquellas almacenadas en oscuridad (B+O y O+O) (Figura 21). Estos resultados concordaron con lo observado para la luminosidad del color indicando un amarillamiento de las hojas. Según Ksas *et al.* (2015) la luz induciría la producción de moléculas tóxicas que aumentan bajo condiciones de estrés al saturar los procesos fotosintéticos debido a una absorción excesiva de la luz e, lo que genera especies reactivas de oxígeno como el superóxido y oxígeno singlete responsables de la muerte celular de las células de las hojas. Por lo tanto, lo mencionado anteriormente podría explicar los resultados obtenidos y la mayor incidencia de daño celular en las hojas bajo luz continua.

Parámetros químicos

Concentración de fenoles totales. En relación con los espectros-condiciones de luz, la luz aplicada no estimuló la acumulación de fenoles totales en comparación a los tratamientos en oscuridad. De manera similar Martínez-Sánchez *et al.* (2011) reportaron que luego de irradiar las hojas de lechuga romana con luz durante diferentes fotoperiodos se observaron concentraciones inferiores de fenoles totales que las almacenadas en oscuridad: Estos autores mencionan que pudo deberse esta respuesta a al exceso de luz incrementaría la excitación energética y a su vez generaría la producción de especies reactivas de oxígeno.

Capacidad antioxidante. Respecto a la capacidad antioxidante por FRAP no se observó una tendencia consistente entre los espectros-condiciones de luz y tiempo de almacenaje. No obstante, los resultados muestran que la luz blanca estimuló el aumento de la capacidad antioxidante en las hojas de rúcula. Estos resultados concuerdan con lo presentado por Lester *et al.* (2010) donde hojas de espinacas cultivar “Ramish” tratadas con luz continua de lámparas fluorescentes almacenadas por diez días a 4 °C mostraron un aumento de la capacidad antioxidante en comparación con las hojas en oscuridad. Según estos mismos autores el aumento de la capacidad antioxidante se debió a factores relacionados con el cultivar y el espectro de luz aplicada.

En cuanto a la capacidad antioxidante por DPPH, en general se observó que durante los seis primeros días los valores más altos fueron en hojas expuestas a una combinación de luz D, excepto al noveno día donde las hojas en oscuridad presentaron los valores más altos y similares a las hojas con luz blanca.

Mirzahosseini *et al.*, (2020) evaluaron la luz LED sobre hojas de *Arabidopsis thaliana* lesionadas y encontraron que la combinación de luz roja (70%) +azul (30%) incrementó la actividad de las enzimas guaiacol peroxidasa, catalasa y ascorbato peroxidasa y superóxido dismutasa, sugiriendo que esta respuesta se debió al efecto que tienen los espectros de luz en la activación de mecanismos de acción frente a una situación de estrés. Esto explicaría el aumento de la capacidad antioxidante en las hojas de rúcula sometidas al estrés luminoso observado en este estudio.

Análisis microbiológico. Durante el experimento no se encontró una tendencia clara del efecto de los espectros sobre los recuentos microbianos en las hojas de rúcula. Las hojas bajo luz blanca continua (B+B) y oscuridad (O+O) presentaron mayor carga microbiana, tanto para mesófilos como psicrófilos. Estos resultados son opuestos a los obtenidos por Kim *et al.* (2017) quienes al evaluar el efecto de luz LED de 405 nm en el crecimiento de diferentes tipos de bacterias en papayas cortadas almacenadas a 4 y 10 °C, observaron una reducción significativa de la carga microbiológica respecto a la oscuridad. Estos autores hipotetizaron la luz aplicada generaría especies reactivas de oxígeno afectando el ADN y las membranas de las bacterias. En este mismo sentido Ghate *et al.* (2013) estudiaron la supervivencia de *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* tras 7,5 horas bajo luz LED azul (461 nm), verde (521 nm), roja (642 nm) y oscuridad. Estos investigadores observaron que la mayor reducción se dio bajo luz azul y verde comparado con a luz roja y oscuridad. Otros estudios tampoco muestran un efecto muy claro en la reducción microbiana debido a la luz ya que señalan también cambios de temperatura durante la conservación y presencia de condensación en el interior de los envases condiciones que favorecerían el crecimiento microbiano (Yamauchi y Watada, 1998, Yavaş y Soyer, 2017).

CONCLUSIONES ENSAYO 2

- La combinación de los colores de luz roja+verde+blanca reduce la pérdida de peso en hortalizas de hojas de rúcula durante su conservación refrigerada prolongando su vida de anaquel.
- La combinación de luces estudiadas afecta el color de las hojas de rúcula después de 6 días de conservación refrigerada reduciendo la calidad visual de las hojas.
- Combinar luz roja+azul+blanca y blanca+blanca generan un mayor daño celular en hojas de rúcula conservadas en refrigeración.
- Los espectros de luz LED ralentizan el crecimiento bacteriano en las hojas de rúculas conservadas en refrigeración.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Ahmad, N., A. Rab and N. Ahmad. 2016. Light-induced biochemical variations in secondary metabolite production and antioxidant activity in callus cultures of *Stevia rebaudiana* (Bert). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 154, 51-56.

Bantis, F., S. Smirnakou, O. Theoharis, A. Koukounaras, N. Ntagkas and , K. Radoglou. 2018. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light (LEDs). *Scientia Horticulturae* 235: 437-451.

Battistoni, B. 2018. Efecto de luces led azul, verde o roja sobre la calidad funcional de dos cultivares de espinaca (*Spinacia oleracea* L.). 37 p. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronomicas, La Pintana, Santiago, Chile.

Bell, L. 2016. Rocket science: Phytochemical, postharvest, shelf-life & sensory attributes of rocket species. 302 p. Tesis Doctoral. University of Reading, Department of Food & Nutritional Sciences, Reading, United Kingdom.

Bell, L and Wagstaff, C. 2019. Rocket science: A review of phytochemical & health-related research in *Eruca* & *Diplotaxis* species. *Food Chemistry: X*. 1.

Benzie, I. F. and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a canopy structure in wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena fatua* L.) exposed to enhanced ultraviolet – B radiation. *Functional Ecology* 2: 319-330.

Braidot, E., E. Petrusa, C. Peresson, S. Patui, A. Bertolini, F. Tubaro, U. Wahlby, M. Coan, A. Vianello and Zancani, M., 2014. Low-intensity light cycles improve the quality of lamb's lettuce (*Valerianella oleracea* L. Pollich) during storage at low temperature, *Postharvest Biology and Technology* 90:15-23.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. and Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 28: 25-30.

Brasil, I. and Siddiqui, M., 2018. Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality. p. 1-40. *In: Mohammed Siddiqui* (1 ed.) *Postharvest quality of fruits and vegetables: An overview*. Elsevier, India.

Cantwell M, y Suslow, T. 2002. Sistemas de manejo postcosecha: Frutas y hortalizas precortadas (mínimamente procesadas) p. 490-517 *In: Kader A* (ed) *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Tercera edición. Universidad de California, Davis, Estado Unidos.

Chen, X., W. Guo, X. Xue, L. Wang, and X. Qiao, 2014. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae* 172 : 168 – 175.

Colquhoun, T, M. Schwieterman, J. Gilbert, E.Jaworski, K. Langer, C. Jones, G., Rushing, T. Hunter, J. Olmstead, D.Clark, and Folta, K. 2013. Light modulation of volatile organic compounds from petunia flowers and select fruits. *Postharvest Biology and Technology*. 86:

Costa, L., Y., Carrión, C., Rolny, N., and Guiamet, J. 2013. Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology* 86:181-191.

Darko, E., P. Heydarizadeh, B. Schoefs, and M. Sabzalian. 2014. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary. *Philosophical transactions of the royal society* 369.

Degl'innocenti, E, Pardossi, A , Tattini, M, and Guidi, L. (2008). Phenolic compounds and antioxidant power in minimally processed salad. *Journal of Food Biochemistry*. 32(5). 642-653.

Dobrinás, S., G. Stanciu, and S. Lupsor. 2017. Total phenolic content and HPLC characterization of some culinary herbs. *Journal of Science and Arts*, 2(39) 321 – 330

Doležalová, I., M. Duchoslav, and K. Dušek. 2013. Biology and yield of rocket (*Eruca sativa* Mill.) under field conditions of the Czech Republic (Central Europe). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 41(2):530.

D'Souza, C., H.-G. Yuk, G. Khoo, and W. Zhou. 2015. Application of light-emitting diodes in food production, postharvest preservation, and microbiological food safety. *comprehensive reviews in food science and food safety* 14(6): 719-740.

ELSadek, M., 2014. Chemical constituents of *Eruca sativa* and treatment activity against paracetamol inducing hepatic injury in experimental rats. *Egyptian Journal of Nutrition and Health* 9(1):1-12.

Favre, N., Bárcena, A., J. Bahima, G. Martínez, and L. Costa. 2018. Pulses of low intensity light as promising technology to delay postharvest senescence of broccoli. *Postharvest Biology and Technology* 142: 107-114.

Garrido, Y., J. Tudela, and M. Gil, 2015. Comparison of industrial precooling systems for minimally processed baby spinach. *Postharvest Biology and Technology* 102: 1-8.

Garrido, Y., Tudela, J, J. Hernández, and M. Gil. 2016. Modified atmosphere generated during storage under light conditions is the main factor responsible for the quality changes of baby spinach. *Postharvest Biology and Technology* 114: 45-53.

Ghate, V., K. Ng, W. Zhou, H. Yang, G. Khoo, W.-B. Yoon, and H.-G Yuk. 2013. Antibacterial effect of light emitting diodes of visible wavelengths on selected foodborne pathogens at different illumination temperatures. *International Journal of Food Microbiology* 166(3): 399-406.

Gil, M., and R., Beaudry. 2020. Leafy vegetables: Baby leaves, p. 527-529. In Gil M. I. and Beaudry R. (eds), Controlled and Modified Atmosphere for Fresh and Fresh-Cut Produce. Academic Press, Londres, Reino Unido.

Glowacz, M., L. Mogren, J. Reade, A. Cobb, and J. Monaghan. 2014. High- but not low-intensity light leads to oxidative stress and quality loss of cold-stored baby leaf spinach. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(9):1821-1829.

Gómez, C., and L Gennaro Izzo. 2018. Increasing efficiency of crop production with leds. *AIMS Agriculture and Food*, 3(2): 135-153.

Gutiérrez, D., C. Char, V. Escalona, A. Chaves, and S. Rodríguez. 2015. Application of uv-c radiation in the conservation of minimally processed rocket (*Eruca sativa* mill.). *Journal of Food Processing and Preservation* 39(6): 3117-3127.

Guzmán, C., L. Prat, C. Rivas, and D. Aros. 2018. Induction of direct organogenesis from aerial explants of scented alstroemeria genotypes. *Ciencia e Investigación Agraria* 45(2): 158-168.

Hernández, R., 2013. Growth and development of greenhouse vegetable seedlings under supplemental led lighting, 127p, Tesis Doctoral. The University of Arizona. School of Plant Sciences. Tucson, Arizona. Estados Unidos.

Hasan, M., T. Bashir, R. Ghosh, S. Lee, and H. Bae. 2017. An overview of leds 'effects on the production of bioactive compounds and crop quality. *Molecules* 22: 1420

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

Jin, P., D. Yao, F. Xu, H. Wang, and Y. Zheng. 2015. Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. *Food Chemistry* 172: 705-709.

Kakade, A., P. More, S. Jadhav, and V. Bhosle. 2015. Shelf life extension of fresh-cut spinach. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 8: 609 - 614.

Kanwal, M., Farhatullah, F., Rabbani, A., Iqbal, S., Fayyaz, L., and Afzal, M. (2014). Genetic diversity in Brassica species and *Eruca sativa* for yield associated parameters. *Genetika*. 46(2), 537-543.

Kasim, M., and R. Kasim. 2012. Color changes of fresh-cut swiss chard leaves stored at different light intensity. *American Journal of Food Technology* 7(1): 13-21.

Kennard, N., 2019. Food Waste Management. *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, 1-17.

Kim, M., W. Bang, and H. Yuk. 2017. 405 ± 5 nm light emitting diode illumination causes photodynamic inactivation of *Salmonella* spp. on fresh-cut papaya without deterioration. *Food Microbiology* 62: 124-132.

Kozai T., 2016, Why led lighting for urban agriculture? p. 3-18. *In*: Kozai T., Fujiwara K., and Runkle E. (eds) *LED Lighting for Urban Agriculture*. Springer, Singapore.

Ksas, B., N. Becuwe, A. Chevalier, and M. Havaux. 2015. Plant tolerance to excess light energy and photooxidative damage relies on plastoquinone biosynthesis. *Scientific Reports* 5(1): 1-16.

Lara, O. 2019. Efecto de los filtros fotoselectivos en el rendimiento y calidad postcosecha de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) “baby” cv viroflay cultivada en hidroponía p. 53. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, La Pintana, Santiago, Chile.

Lanoue, J., E. Leonardos, and B. Grodzinski. 2018. Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves. *Frontiers in Plant Science* 9: 8-11.

Lee, S, J. Seo, M. Lee, J. Chun, P. Antonisamy, M. Arasu, T. Suzuki, N. Al-Dhabi, and S. Kim. 2014. Influence of different LED lamps on the production of phenolic compounds in common and Tartary buckwheat sprouts. *Industrial Crops and Products* 54: 320-326.

Lester, G., D. Makus, and D. Hodges. 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.

Løkke, M., 2012, Postharvest quality changes of leafy green vegetables. 75 p. Tesis Doctoral. Universidad de Aarhus, Departamento de Ciencia Alimentaria. Aarhus, Dinamarca.

Ma, L., M. Zhang, B. Bhandari, and Z. Gao. 2017. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 64: 23-38.

Martínez-Sánchez, A., J. Tudela, C. Luna, A. Allende, and M. Gil. 2011. Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce. *Postharvest Biology and Technology* 59(1): 34-42.

Matthews, J., S. Violet-Chabrand, and T. Lawson. 2019. Role of blue and red light in stomatal dynamic behaviour. *Journal of Experimental Botany* 71(7), 2253-2269.

Mirzahosseini, Z., L. Shabani, and M. Sabzalian. 2020. LED lights increase an antioxidant capacity of *Arabidopsis thaliana* under wound-induced stresses. *Functional Plant Biology* 47(9): 853-864.

Morales, J., S. Miranda, Reyes, A., J. Ramirez, E. Hernández, R. Navarro, Rivera, y F., Lopez. 2014. Manejo de cultivos hidropónicos bajo invernadero. Universidad Autónoma Chapingo, Preparatoria Agrícola. Texcoco, Chapingo, Estado de México, México.

Nagendran, R., and Y. Lee. 2015, Green and red light reduces the disease severity by *pseudomonas cichorii* jbc1 in tomato plants via upregulation of defense-related gene expression. *Phytopathology*® 105(4), 412-418.

Opel, D., E. Hagstrom, A. Pace, K. Sisto, S. Hirano-Ali, S. Desai, and J. Swan. 2015. Light-emitting diodes: a brief review and clinical experience. *The Journal of clinical and aesthetic dermatology* 8:36-44.

Pasini, F., V. Verardo, M. Caboni, and L. D'Antuono. 2012., Determination of glucosinolates and phenolic compounds in rocket salad by HPLC-DAD-MS: Evaluation of *Eruca sativa* Mill. And *Diplotaxis tenuifolia* L. genetic resources. *Food Chemistry* 133: 1025-1033.

Patil, S., R. Ranveer, K. Pujari, and A. Sahoo. 2018. LEDs as novel chemical-free food preservation technology. *Progressive research – an international journal* 12:2493-2498.

Pintos, F., J. Hasperué, A. Vicente, and L. Rodoni. 2020. Role of white light intensity and photoperiod during retail in broccoli shelf-life. *Postharvest Biology and Technology* 163: 111121.

Radziejewska-Kubzdela, E., Olejnik, A., and Biegańska-Marecik, R. (2019). Effect of pretreatment on bioactive compounds in wild rocket juice. *Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 5234-5242.

Routray, W., V. Orsat, and M. Lefsrud. 2018. Effect of postharvest led application on phenolic and antioxidant components of blueberry leaves. *chemengineering*, 2(4) 56.

Rufyikiri, A., 2018. the use of light emitting diodes (leds) for shelf-life extension of spinach and kale. 92 p. Tesis Magister. McGill University, Department of Bioresource Engineering, Montreal, Quebec, Canada.

Samuolienė, G., A. Brazaitytė, J. Jankauskienė, A. Viršilė, R. Sirtautas, A. Novičkovas, S. Sakalauskiene, J. Sakalaukaitė, and P. Duchovskis. 2013. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. *Central European Journal of Biology* 8(12): 1241-1249.

Samuolienė, G., R. Sirtautas, A. Brazaitytė, and P. Duchovskis. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food Chemistry* 134(3): 1494-1499.

Simona, D., G. Stanciu, and S. Lupsor. 2017. Total phenolic content and HPLC characterization of some culinary herbs. *Journal of Science and Arts* 2(39): 321-330

Smart, C., 1994. Gene expression during leaf senescence. *new phytologist*, 126(3) 419-448.

Singh, S., 2009. Basics of light emitting diodes, characterizations and applications. 1-23. *In*: N.P. Cheng (ed) Handbook of Light Emitting and Schottky Diode Research, Allahabad, India.

Sousa-Gallagher, M., A. Tank, and R., Sousa. 2016. Emerging technologies to extend the shelf life and stability of fruits and vegetables. The stability and shelf life of food (Second Edition), 399-430.

Suetsugu, N., T. Takami, Y. Ebisu, H. Watanabe, Ch. Iiboshi, M. Doi, and K. Shimazaki. 2014. Guard cell chloroplasts are essential for blue light-dependent stomatal opening in *Arabidopsis*. *PloS one*. 9 (9): e108374.

Sun, Z., X. Jin, R. Albert, and S. Assmann. 2014. Multi-level modeling of light-induced stomatal opening offers new insights into its regulation by drought. *PLoS computational biology* 10(11): e1003930

Swain, T., and W. Hills. 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica* in. the quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1): 63-68.

Taiz, L., and E., Zeiger. 2002. *Plant physiology* (3rd ed.). Sinauer Associates. 91: 750-751.

Talbott, L., J. Hammad, L. Harn, V. Nguyen, J. Patel, and E. Zeiger. 2006. Reversal by green light of blue light-stimulated stomatal opening in intact, attached leaves of *Arabidopsis* operates only in the potassium-dependent, morning phase of movement. *Plant and Cell Physiology* 47(3): 332-339.

Tapia, M y G. Toro, 2008. Lechuga hidropónica: nutrición mineral. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 2008. ISBN 978 – 956 – 19 – 0610 – 5. Propiedad Intelectual: Universidad de Chile N°176667. 92 p.

Toledo, M., Y. Ueda, Y. Imahori, and M. Ayaki, (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.

Wang, S., X. Wang, X. Shi, B. Wang, X. Zheng, H. Wang, and F. Liu. 2016. Red and blue lights significantly affect photosynthetic properties and ultrastructure of mesophyll cells in senescing grape leaves. *Horticultural Plant Journal* 2(2), 82-90.

Yamauchi, N., and A. Watada. 1998. Ascorbic acid and β -carotene affect the chlorophyll degradation in stored spinach (*Spinacia oleracea* L.) Leaves. *Food Preservation Science*, 24(1): 17-21.

Yavaş Acar, S., and Y. Soyer. 2017. Microorganisms found in mpr and packaged produce and their detection methods. p. 653-684. *In* Yildiz, F. and Wiley, R.C. (eds) Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Second edition, Food Engineering Series Springer. Boston, MA, Estados Unidos.

Yildiz, F., and C. Wiley. 2017. Minimally processed refrigerated fruits and vegetables 2nd Edition. Springer, Nueva York, Estados Unidos

Xiao, Z., G. Lester, Y. Luo, Z. K., Xie, L. Yu, and Q. Wang,. 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.

Xu, F., L. Shi, W. Chen, S. Cao, X. Su, and Z. Yang. 2014. Effect of blue light treatment on fruit quality, antioxidant enzymes and radical-scavenging activity in strawberry fruit. *Scientia Horticulturae* 175, 181-186.

Zhang, T., and K. Folta, 2012. Green light signaling and adaptive response. *Plant Signaling & Behavior*, 7(1) 75-78. <https://doi.org/10.4161/psb.7.1.18635>

ANEXO

Cuadro 1. Composición de la solución nutritiva utilizada en el ciclo del cultivo hidropónico de rúculas (*Eruca sativa* Mill.) tamaño “baby” diseñada para las épocas otoño-invierno
Fuente: Tapia y Toro (2008)

Fertilizante	g/1.000 L
Nitrato de calcio	116,0
Nitrato de magnesio	221,0
Fosfato mono potásico	264,0
Nitrato de potasio	223,0
Nitrato de amonio	140,0
Ac. Bórico	0,41
Sulfato de manganeso	1,18
Sulfato de cobre	0,01
Molibdato de amonio	0,05
Sulfato de zinc	0,13
Quelato de hierro (6% Fe)	7,0

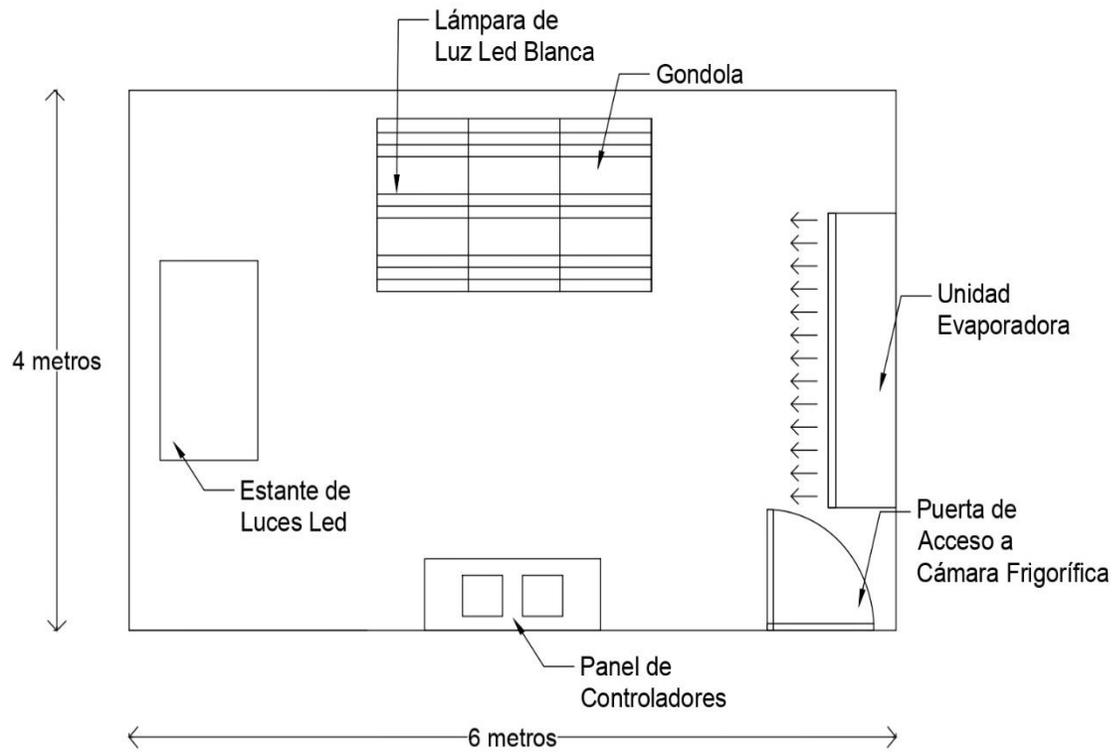


Figura 1. Vista de planta de la ubicación de ambos experimentos dentro de la cámara frigorífica.

APENDICE I

Cuadro 1. Pérdida de peso en porcentaje (%) de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Pérdida de peso (%)						
Factor (A) Espectros- condiciones de luz	(%) ¹ Medias	Factor (B) Tiempo de Almacenaje en días	(%) ¹ Medias			
R+B	6,0±0,7 ^a	3	2,8±0,4 ^b			
A+B	6,1±1,4 ^a	6	3,6±0,9 ^b			
V+B	2,9±0,5 ^b	9	5,8±0,8 ^a			
B+B	5,3±0,7 ^a					
B+O	2,8±0,4 ^b					
O+O	1,4±0,1 ^c					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
	(%)					
	¹ Medias NS	¹ Medias NS	¹ Medias NS			
Espectros- condiciones de luz	R+B	4,3±0,4	R+B	5,8±0,7	R+B	8,0±0,8
	A+B	5,7±1,1	A+B	5,5±1,7	A+B	7,3±1,4
	V+B	1,4±0,2	V+B	1,5±0,5	V+B	5,9±0,9
	B+B	3,7±0,6	B+B	4,9±0,9	B+B	7,4±0,6
	B+O	1,6±0,2	B+O	2,6±0,8	B+O	4,2±0,3
	O+O	1,2±0,1	O+O	1,1±0,1	O+O	1,8±0,1
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			**			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			NS			

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ ($n=4$) \pm E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha ($n=4$) \pm E.E.

** Significativo para p –valor $< 0,01$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 2. Evolución de la luminosidad del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Luminosidad						
Factor (A) Espectros- condiciones de luz	(L*) ¹ Medias	Factor (B) Tiempo de Almacenaje en días	(L*) ¹ Medias			
Cosecha	36,3±0,8	Cosecha	36,3±0,8			
R+B	41,9±1,6	3	37,9±0,8			
A+B	44,3±1,2	6	40,3±0,7			
V+B	43,3±1,2	9	45,8±1,6			
B+B	42,2±1,0					
B+O	38,5±0,8					
O+O	37,8±0,4					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
	(L*)					
	¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias			
Espectros- condiciones de luz	R+B	38,1±1,3 ^B ^a	R+B	40,2±0,5 ^B ^{ab}	R+B	47,5±3,1 ^A ^a
	A+B	38,9±0,5 ^C ^a	A+B	43,3±0,6 ^B ^a	A+B	50,7±2,3 ^A ^a
	V+B	38,8±0,9 ^B ^a	V+B	41,8±1,0 ^B ^a	V+B	49,3±1,6 ^A ^a
	B+B	37,7±0,8 ^B ^a	B+B	41,0±1,0 ^B ^{ab}	B+B	47,9±1,1 ^A ^a
	B+O	36,9±0,6 ^B ^a	B+O	38,2±0,8 ^{AB} ^b	B+O	40,4±1,0 ^A ^b
	O+O	37,3±0,4 ^A ^a	O+O	37,4±0,4 ^A ^b	O+O	38,9±0,5 ^A ^b
		Cosecha 36,3±0,8				
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz						**
Tiempo de almacenaje en días						*
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje						*

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

*Significativo para p – valor < 0,05

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 3. Evolución del tono de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.

		Tono				
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	(H _{ab}) ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	(H _{ab}) ¹ Medias			
Cosecha	109,2±0,5	Cosecha	109,2±0,5			
R+B	106,0±0,9 ^b	3	107,2±0,5 ^a			
A+B	105,1±0,8 ^b	6	108,0±0,4 ^a			
V+B	105,9±0,4 ^b	9	105,0±0,9 ^b			
B+B	106,0±0,5 ^b					
B+O	108,3±0,4 ^a					
O+O	109,0±0,6 ^a					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
		(H _{ab})				
	¹ Medias NS	¹ Medias NS	¹ Medias NS			
Espectros- condiciones de luz	R+B	106,3±0,6	R+B	107,5±0,5	R+B	104,0±1,7
	A+B	106,4±0,7	A+B	106,5±0,3	A+B	102,4±1,5
	V+B	107,0±0,2	V+B	107,7±0,4	V+B	103,1±0,7
	B+B	106,4±0,6	B+B	107,3±0,2	B+B	104,4±0,6
	B+O	108,0±0,5	B+O	108,8±0,3	B+O	108,0±0,3
	O+O	108,7±0,5	O+O	110,0±0,5	O+O	108,1±0,7
			Cosecha	109,2±0,5		
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			*			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			NS			

¹Medias con una letra común en sentido vertical son estadísticamente iguales $p > 0.05$ (n=4) ± E.E.

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

*Significativo para p – valor < 0,05

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 4. Evolución de la saturación de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.

Saturación (C*)						
Factor (A)	(C*)		Factor (B)	(C*)		
Espectros- condiciones de luz	¹ Medias		Tiempo de Almacenaje en días	¹ Medias		
Cosecha	43,7±1,6		Cosecha	43,7±1,6		
R+B	51,1±1,4 ^a		3	48,3±1,8 ^b		
A+B	51,4±1,7 ^a		6	48,0±1,2 ^b		
V+B	50,3±1,0 ^a		9	51,2±1,1 ^a		
B+B	51,0±1,7 ^a					
B+O	46,4±1,1 ^b					
O+O	44,8±1,3 ^b					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6	9		
	(C*)					
	¹ Medias		¹ Medias	¹ Medias		
	NS		NS	NS		
Espectros- condiciones de luz	R+B	52,1±1,6	R+B	48,7±1,6	R+B	52,5±1,1
	A+B	49,6±2,7	A+B	50,9±1,1	A+B	53,7±1,3
	V+B	47,5±1,2	V+B	48,1±0,9	V+B	55,2±0,8
	B+B	50,7±2,6	B+B	50,4±1,7	B+B	51,9±0,8
	B+O	46,3±1,7	B+O	46,6±0,9	B+O	46,4±0,8
	O+O	43,4±1,3	O+O	43,4±0,9	O+O	47,5±1,7
		Cosecha 43,7±1,6				
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz				**		
Tiempo de almacenaje en días				*		
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje				NS		

¹Medias con una letra común en sentido vertical son estadísticamente iguales $p > 0.05$ ($n=4$) \pm E.E.

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha ($n=4$) \pm E.E.

*Significativo para p – valor $< 0,05$

** Significativo para p –valor $< 0,01$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 5. Fuerza máxima en (N) para el corte en hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.

Fuerza máxima en (N)						
Factor (A)	(N)		Factor (B)	(N)		
Espectros- condiciones de luz	¹ Medias		Tiempo de Almacenaje en días	¹ Medias		
Cosecha	1,31±0,1		Cosecha	1,31±0,1		
R+B	1,68±0,3 ^c		3	1,79±0,3 ^{ab}		
A+B	1,98±0,1 ^a		6	1,70±0,1 ^b		
V+B	1,73±0,2 ^{bc}		9	1,89±0,1 ^a		
B+B	1,84±0,4 ^{ab}					
B+O	1,66±0,2 ^c					
O+O	1,88±0,1 ^{ab}					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6	9		
			(N)			
	¹ Medias		¹ Medias	¹ Medias		
	NS		NS		NS	
Espectros- condiciones de luz	R+B	1,77±0,1	R+B	1,48±0,1	R+B	1,80±0,2
	A+B	1,93±0,0	A+B	1,79±0,1	A+B	2,22±0,1
	V+B	1,69±0,2	V+B	1,64±0,1	V+B	1,85±0,1
	B+B	1,83±0,1	B+B	1,87±0,1	B+B	1,83±0,1
	B+O	1,77±0,1	B+O	1,50±0,0	B+O	1,71±0,1
	O+O	1,77±0,1	O+O	1,91±0,1	O+O	1,96± 0,1
			Cosecha	1,31±0,1		
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz				**		
Tiempo de almacenaje en días				*		
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje				NS		

¹Medias con una letra común en sentido vertical son estadísticamente iguales $p > 0.05$ (n=4) ± E.E.

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

*Significativo para p – valor < 0,05

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 6. Porcentaje de daño celular en hojas de rúcula tratadas con distintos espectro-condiciones tras 9 días de almacenamiento a 4°C.

Espectros-condiciones de luz	¹ Media % células dañadas
² Cosecha	6,0±2,0
R+B ₉	60,0±6,4 ^a
A+B ₉	66,7±2,4 ^a
V+B ₉	68,0±4,6 ^a
B+B ₉	57,0±1,7 ^{ab}
B+O ₉	47,0±0,6 ^b
O+O ₉	23,0±1,7 ^c
Significancia	**

¹ Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas $p < 0.05$ ($n=3$) \pm E.E.

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha ($n=3$) \pm E.E.

** Significativo para p -valor $< 0,01$

Cuadro 7. Concentración de fenoles totales de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Concentración de fenoles totales mg EAG/ g pf						
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	mg EAG/ g pf ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	mg EAG/ g pf ¹ Medias			
Cosecha	5,3±0,3	Cosecha	5,3±0,3			
R+B	5,5±0,3	3	5,1±0,3			
A+B	5,6±0,3	6	5,8±0,4			
V+B	5,7±0,4	9	6,1±0,4			
B+B	6,1±0,4					
B+O	5,8±0,4					
O+O	5,2±0,3					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9	
mg EAG/ g pf						
		¹ Medias			¹ Medias	¹ Medias
Espectros- condiciones de luz	R+B	5,3±0,3B ^a	R+B	4,6±0,5B ^b	R+B	6,7±0,2A ^a
	A+B	5,2±0,4A ^a	A+B	5,3±0,2A ^b	A+B	6,3±0,2A ^{ab}
	V+B	5,0±0,3B ^a	V+B	6,7±0,4A ^a	V+B	5,2±0,7B ^b
	B+B	5,8±0,2A ^a	B+B	5,7±0,3A ^{ab}	B+B	6,8±0,7A ^a
	B+O	4,8±0,3B ^a	B+O	6,6±0,6A ^a	B+O	6,1±0,3A ^{ab}
	O+O	4,8±0,4A ^a	O+O	5,5±0,3A ^b	O+O	5,2±0,3A ^b
	Cosecha 5,3±0,3					
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz					NS	
Tiempo de almacenaje en días					*	
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					*	

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0,05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

*Significativo para p – valor $< 0,05$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 8. Capacidad antioxidante total por FRAP de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

CAT en $\mu\text{g ET/g pf}$						
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	$\mu\text{g ET/g pf}$ ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días		$\mu\text{g ET/g pf}$ ¹ Medias		
Cosecha	2087,8±1,0	Cosecha		2087,8±1,0		
R+B	2082,6±1,4	3		2085,6±2,2		
A+B	2084,3±1,6	6		2082,7±3,1		
V+B	2083,4±1,3	9		2081,1±4,1		
B+B	2080,0±2,1					
B+O	2082,3±1,4					
O+O	2086,2±1,7					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9	
$\mu\text{g ET/g pf}$						
		¹ Medias	¹ Medias		¹ Medias	
Espectros- condiciones de luz	R+B	2.084,7±0,7B ^{ab}	R+B	2.088,8±2,3B ^a	R+B	2.074.4±1,3A ^c
	A+B	2.084,8±1,6AB ^{ab}	A+B	2.086,8±0,7B ^{ab}	A+B	2.081.2±2,4A ^b
	V+B	2.086,4±0,6B ^{ab}	V+B	2.078,0±0,9A ^b	V+B	2.085,9±2,4B ^a
	B+B	2.082,0±0,9B ^b	B+B	2.081,8±2,3B ^b	B+B	2.076,2±3,0A ^c
	B+O	2.086,9±1,3B ^{ab}	B+O	2.078,7±2,1A ^b	B+O	2.081,2±0,6A ^b
	O+O	2.088,8±1,5B ^a	O+O	2.082,1±1,0A ^b	O+O	2.087,8±2,5B ^a
	Cosecha 2087,8±1,0					
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz					*	
Tiempo de almacenaje en días					**	
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					**	

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0,05$ (n=4) \pm E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) \pm E.E.

** Significativo para p –valor $< 0,01$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 9. Capacidad antioxidante total por DPPH de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

CAT en $\mu\text{g ET/g pf}$						
Factor (A)			Factor (B)			
Espectros- condiciones de luz	$\mu\text{g ET/g pf}$ ¹ Medias		Tiempo de Almacenaje en días		$\mu\text{g ET/g pf}$ ¹ Medias	
Cosecha	1.981,4±0,8		Cosecha		1.981,4±0,8	
R+B	1.985,4±1,2		3		1.981,7±1,1	
A+B	1.984,3±1,7		6		1.986,2±1,5	
V+B	1.986,1±1,6		9		1.990,6±1,5	
B+B	1.988,7±1,3					
B+O	1.987,1±1,4					
O+O	1.985,7±1,3					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9	
	$\mu\text{g ET/g pf}$					
	¹ Medias		¹ Medias		¹ Medias	
Espectros- condiciones de luz	R+B	1.981,7±0,7B ^a	R+B	1.979,2±2,2B ^b	R+B	1.995,3±0,8A ^a
	A+B	1.982,2±1,5B ^a	A+B	1.980,0±1,4B ^b	A+B	1.990,4±2,2A ^b
	V+B	1.981,1±1,4C ^a	V+B	1.990,7±0,7A ^a	V+B	1.986,4±2,7B ^{bc}
	B+B	1.983,7±1,2B ^a	B+B	1.987,4±2,0B ^a	B+B	1.995,2±0,6A ^a
	B+O	1.980,0±0,9B ^a	B+O	1.989,5±1,9A ^a	B+O	1.991,6±0,7A ^{ab}
	O+O	1.981,2±1,1C ^a	O+O	1.990,2±0,7A ^a	O+O	1.985,6±2,2B ^c
		Cosecha 1.981,4±0,8				
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz					*	
Tiempo de almacenaje en días					**	
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					**	

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0,05$ (n=4) \pm E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) \pm E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 10. Concentración de clorofila total de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

CTC en mg/ g Pf						
Factor (A)	mg /g pf	Factor (B)	mg /g pf			
Espectros- condiciones de luz	¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	¹ Medias			
Cosecha	3,73±0,03	Cosecha	3,73±0,03			
R+B	3,39±0,02	3	3,73±0,02			
A+B	3,40±0,02	6	3,73±0,02			
V+B	3,54±0,02	9	3,20±0,04			
B+B	3,62±0,03					
B+O	3,69±0,02					
O+O	3,69±0,02					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
	mg / g pf					
	¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias			
Espectros- condiciones de luz	R+B	3,71±0,02A ^a	R+B	3,74±0,01A ^a	R+B	2,72±0,01B ^d
	A+B	3,71±0,02A ^a	A+B	3,75±0,03A ^a	A+B	2,74±0,02B ^d
	V+B	3,73±0,01A ^a	V+B	3,75±0,01A ^a	V+B	3,13±0,04B ^c
	B+B	3,72±0,02A ^a	B+B	3,72±0,01A ^a	B+B	3,44±0,05B ^b
	B+O	3,76±0,01A ^a	B+O	3,72±0,02A ^a	B+O	3,59±0,05B ^a
	O+O	3,76±0,01A ^a	O+O	3,73±0,01A ^a	O+O	3,59±0,04B ^a
		Cosecha 3,73±0,03				
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			**			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			**			

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0,05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 11. Recuentos de bacterias mesófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Mesófilos log ufc/g						
Factor (A) Espectros- condiciones de luz	log ufc/g ¹ Medias	Factor (B) Tiempo de Almacenaje en días	log ufc/g ¹ Medias			
Cosecha	1,43±0,05	Cosecha	1,43±0,05			
R+B	2,76±0,5	3	2,50±0,7			
A+B	3,49±1,1	6	3,13±0,7			
V+B	3,23±0,7	9	3,44±0,8			
B+B	2,81±0,7					
B+O	2,53±0,6					
O+O	3,32±0,6					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
log ufc/g						
	¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias			
Espectros- condiciones de luz	R+B	2,80±0,3A ^a	R+B	2,67±0,8A ^b	R+B	2,80±0,5A ^d
	A+B	2,50±0,8C ^a	A+B	3,63±0,9B ^a	A+B	4,33±1,5A ^a
	V+B	2,13±1,0B ^b	V+B	3,80±0,8A ^a	V+B	3,77±0,4A ^b
	B+B	2,63±0,8B ^a	B+B	2,53±0,5B ^b	B+B	3,27±0,4A ^c
	B+O	2,57±0,5A ^a	B+O	2,50±0,5A ^b	B+O	2,53±1,2A ^d
	O+O	2,37±0,5B ^a	O+O	3,67±0,8A ^a	O+O	3,93±0,5A ^{ab}
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			**			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			**			

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0,05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 12. Recuentos de enterobacterias de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C

Enterobacterias log ufc/g						
Factor (A)	log ufc/g		Factor (B)	log ufc/g		
Espectros- condiciones de luz	¹ Medias		Tiempo de Almacenaje en días	¹ Medias		
Cosecha	0,80±0,2		Cosecha	0,80±0,2		
R+B	3,31±0,9		3	2,16±0,6		
A+B	2,77±0,6		6	2,93±0,7		
V+B	2,56±0,7		9	3,04±0,9		
B+B	2,82±0,5					
B+O	2,64±0,6					
O+O	2,16±1,1					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6	9		
log ufc / g						
		¹ Medias			¹ Medias	¹ Medias
Espectros- condiciones de luz	R+B	2,93±0,5 ^B ^a	R+B	3,30±1,0 ^{AB} ^{ab}	R+B	3,70±1,3 ^A ^a
	A+B	2,60±0,5 ^B ^{ab}	A+B	2,50±0,3 ^B ^b	A+B	3,20±1,1 ^A ^b
	V+B	1,10±1,0 ^{AB} ^b	V+B	2,87±0,8 ^A ^b	V+B	2,37±0,3 ^B ^c
	B+B	2,50±0,3 ^B ^{ab}	B+B	2,97±0,8 ^A ^{ab}	B+B	3,00±0,4 ^A ^{bc}
	B+O	1,27±0,5 ^B ^c	B+O	3,33±0,3 ^A ^a	B+O	3,33±1,0 ^A ^{ab}
	O+O	1,20±1,0 ^B ^c	O+O	2,60±0,9 ^A ^b	O+O	2,67±1,3 ^A ^c
			² Cosecha 0,80±0,2			
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz						**
Tiempo de almacenaje en días						**
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje						**

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 13. Recuento de bacterias psicrófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C días.

Psicrófilos log ufc/g							
Factor (A)		Factor (B)					
Espectros- condiciones de luz	log ufc/g ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días			log ufc/g ¹ Medias		
Cosecha	1,93±0,2	Cosecha			1,93±0,2		
R+B	3,91±0,3	3			1,78±0,5		
A+B	4,32±0,6	6			5,11±0,8		
V+B	4,20±0,6	9			5,76±0,3		
B+B	4,16±0,5						
B+O	4,33±0,5						
O+O	4,37±0,7						
Interacción A X B							
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9		
	log ufc / g						
	¹ Medias		¹ Medias		¹ Medias		
Espectros- condiciones de luz	R+B	1,40±0,1 \mathbf{B}^c	R+B	5,03±0,6 \mathbf{A}^{bc}	R+B	5,30±0,2 \mathbf{A}^b	
	A+B	1,60±0,8 \mathbf{C}^c	A+B	5,23±0,8 \mathbf{B}^b	A+B	6,13±0,3 \mathbf{A}^a	
	V+B	2,67±0,3 \mathbf{C}^a	V+B	4,63±1,3 \mathbf{B}^c	V+B	5,30±0,1 \mathbf{A}^b	
	B+B	2,27±0,3 \mathbf{C}^b	B+B	4,70±1,0 \mathbf{B}^c	B+B	5,50±0,2 \mathbf{A}^b	
	B+O	1,27±1,2 \mathbf{C}^c	B+O	5,63±0,2 \mathbf{B}^a	B+O	6,10±0,2 \mathbf{A}^a	
	O+O	1,47±0,2 \mathbf{C}^c	O+O	5,43±1,1 \mathbf{B}^a	O+O	6,20±0,8 \mathbf{A}^a	
² Cosecha 1,93±0,2							
Significancia de factores							
Espectros-condiciones de luz					**		
Tiempo de almacenaje en días					**		
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					**		

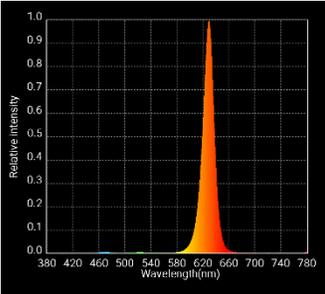
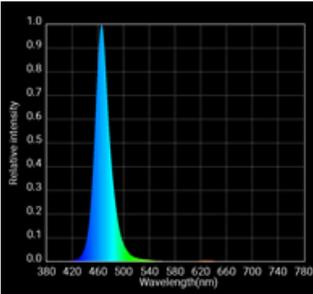
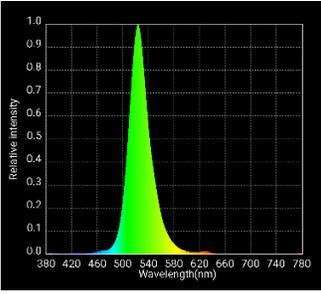
¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

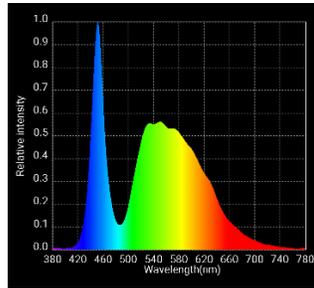
NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 14. Espectros de luz LED (azul, verde, roja y blanca) y condiciones de luz (blanca+ oscuridad, oscuridad) aplicados sobre hojas de rúcula tamaño “baby” en bolsas plásticas almacenadas durante nueve días dentro de la cámara frigorífica a $4,0 \pm 1^\circ\text{C}$. Primer experimento. Intensidades lumínicas promedio y longitudes de cada tipo de condición de luz.

Espectros-condiciones de luz	Longitud de onda	Gráficos de los espectros de luz	Intensidades ajustadas en promedio
Rojo + blanco	570-670 nm	 <p>A spectral graph showing relative intensity on the y-axis (0.0 to 1.0) and wavelength in nm on the x-axis (380 to 780). A single, sharp peak is visible at approximately 630 nm, colored in a gradient from yellow to red.</p>	$52,0 \pm 1,0 /$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^2$
Azul + blanco	425-470 nm	 <p>A spectral graph showing relative intensity on the y-axis (0.0 to 1.0) and wavelength in nm on the x-axis (380 to 780). A single, sharp peak is visible at approximately 450 nm, colored in a gradient from blue to cyan.</p>	$61,0 \pm 2,3 /$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^2$
Verde + blanco	500-550 nm	 <p>A spectral graph showing relative intensity on the y-axis (0.0 to 1.0) and wavelength in nm on the x-axis (380 to 780). A single, sharp peak is visible at approximately 520 nm, colored in a gradient from green to yellow.</p>	$52,0 \pm 2,3 /$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^2$

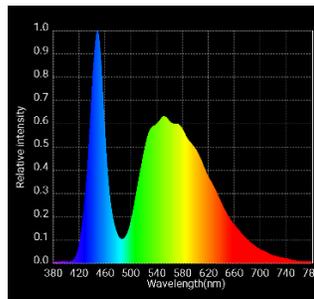
Blanco + blanco

380-780 nm

 $61 \pm 3,6/$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^2$

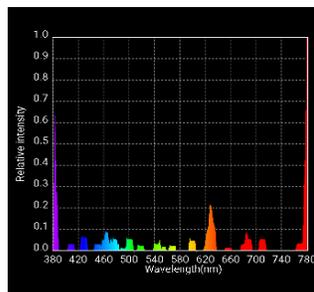
Blanco + oscuridad

380-780 nm

 $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^2$

Oscuridad + oscuridad

-

 $0,01 \mu\text{moles s}^{-1} \text{m}^2$

 Intensidades tomadas y grafico generados con un espectrómetro Ligthing Passport, Asense Tek.

Cuadro 15. Parámetros ambientales medidos dentro de los estantes y góndola con luces LED, donde se aplicaron los tratamientos de diferentes espectros-condiciones de luz durante nueve días en el experimento 1.

Factor A Espectros- condiciones de luz	Temperatura °C			% HR		
	Cámara de luz (estante)	Góndola (mesa)	Promedio de temperaturas durante el almacenamiento	Cámara de luz (estante)	Góndola (mesa)	Promedio de %HR durante el almacenamiento
R+B	6,9±0,2	6,3±0,1	6,6±0,2	92,8±1,3	89,6±0,8	91,2± 1,1
A+B	8,8±0,7	6,3±0,1	7,6±0,4	72±1,8	89,6±0,8	80,8±1,3
V+B	7,4±1,9	6,3±0,1	6,9 ±1,0	77,2±0,3	89,6±0,8	84,4±1,2
B+B	11±0,3	6,3±0,1	8,7±0,2	62±2,7	89,4±0,8	76±1,8
B+O	6,3±0,1	4,0±0,1	5,1 ±0,1	89,4±0,8	94,8 (oscuridad)	91,2±0,8
Cámara de oscuridad						
O+O		4,0±0,1	4.0±0,1	94±0,8		94±0,8

Los datos corresponden al promedio de las temperaturas y % HR medidos durante los nueve días de almacenamiento, ± E.E.

Cuadro 16. Porcentaje de O₂ y CO₂, al interior de las bolsas plásticas durante el almacenaje de hojas de rúcula tratadas con distintos espectros-condiciones dentro de una cámara frigorífica a 4°C. Experimento 1.

Espectro-condiciones de luz	Días de almacenaje					
	0		3		6	
	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂
R+B	21,0±0,0	0,0±0,0	20,0±0,1	0,0±0,0	19,8±0,1	0,0±0,0
A+B	21,0±0,0	0,0±0,0	20,0±0,0	0,0±0,0	19,4±0,1	0,0±0,0
V+B	21,0±0,0	0,0±0,0	20,0±0,1	0,3±0,0	19,5±0,1	0,0±0,0
B+B	21,0±0,0	0,0±0,0	19,9±0,1	0,4±0,1	19,5±0,1	0,0±0,1
B+O	21,0±0,0	0,0±0,0	19,6±0,0	0,0±0,0	19,6±0,2	0,0±0,0
O+O	21,0±0,0	0,0±0,0	16,7±0,4	1,3±0,1	17,7±1,0	0,5±0,2

La medición se realizó utilizando un analizador de gases portátil (Dansensor, Check Point, Ringsted, Dinamarca).

APENDICE II

Cuadro 1. Pérdida de peso en porcentaje (%) de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Pérdida de peso (%)						
Factor (A)	Factor (B)					
Espectros- condiciones de luz	(%) ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	(%) ¹ Medias			
R+A+B	6,3±1,2	3	3,2±0,4			
R+V+B	7,8±0,5	6	4,7±0,6			
A+V+B	5,9±0,6	9	7,2±0,7			
B+B	5,4±0,7					
B+O	2,9±0,4					
O+O	2,1±0,1					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
(%)						
	¹ Medias NS	¹ Medias NS	¹ Medias NS	¹ Medias NS	¹ Medias NS	¹ Medias NS
R+A+B	3,3±0,2B ^b	R+A+B 4,8±0,7B ^b	R+A+B	4,8±0,7B ^b	R+A+B	10,9±1,8A ^a
R+V+B	4,2±0,3B ^{ab}	R+V+B 9,0±0,5A ^a	R+V+B	9,0±0,5A ^a	R+V+B	10,1±0,6A ^a
A+V+B	5,3±1,1A ^a	A+V+B 5,6±0,4A ^b	A+V+B	5,6±0,4A ^b	A+V+B	6,9±0,4A ^b
B+B	3,7±0,6B ^{ab}	B+B 4,9±0,9B ^b	B+B	4,9±0,9B ^b	B+B	7,4±0,6A ^b
B+O	1,6±0,1B ^{bc}	B+O 2,9±0,7A ^c	B+O	2,9±0,7A ^c	B+O	4,2±0,3A ^c
O+O	1,2±0,1A ^c	O+O 1,2±0,1A ^c	O+O	1,2±0,1A ^c	O+O	3,9±0,2A ^c
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			**			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			**			

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ ($n=4$) \pm E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha ($n=4$) \pm E.E.

** Significativo para p –valor $< 0,01$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 2. Evolución de la luminosidad del color de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Luminosidad						
Factor (A)	(L*)		Factor (B)	(L*)		
Espectros- condiciones de luz	Medías		Tiempo de Almacenaje en días	Medias		
Cosecha	38,8±1,0		Cosecha	38,8±1,0		
R+A+B	44,9±1,5		3	38,5±0,9		
R+V+B	45,0±1,7		6	41,7±0,9		
A+V+B	42,9±1,1		9	47,6±1,6		
B+B	43,0±1,4					
B+O	41,0±0,5					
O+O	38,7±0,7					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9	
	(L*)					
	¹ Medias		¹ Medias		¹ Medias	
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	38,0±0,9C ^a	R+A+B	43,2±1,5B ^a	R+A+B	53,6±2,1A ^a
	R+V+B	38,3±1,6C ^a	R+V+B	43,5±1,1B ^a	R+V+B	53,3±2,3A ^a
	A+V+B	39,1±0,7C ^a	A+V+B	42,5±0,6B ^a	A+V+B	47,0±2,1A ^b
	B+B	38,1±1,0B ^a	B+B	44,2±1,0A ^a	B+B	46,6±2,1A ^b
	B+O	38,9±0,6C ^a	B+O	38,9±0,6B ^b	B+O	45,1±0,4A ^b
	O+O	38,5±0,7A ^a	O+O	37,7±0,8A ^b	O+O	39,9±0,7A ^c
Cosecha 38,8±1,0						
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz						**
Tiempo de almacenaje en días						**
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje						**

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 3. Evolución del tono de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.

		Tono				
Factor (A) Espectros- condiciones de luz	(H _{ab}) Medias	Factor (B) Tiempo de Almacenaje en días	(H _{ab}) Medias			
Cosecha	111,4±0,6	Cosecha	111,4±0,6			
R+A+B	107,8±1,0	3	110,8±0,7			
R+V+B	107,7±1,1	6	109,8±0,5			
A+V+B	108,8±0,8	9	106,7±1,1			
B+B	108,8±0,8					
B+O	110,0±0,4					
O+O	111,8±0,6					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
	(H _{ab})					
	¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias			
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	111,4±0,4A ^a	R+A+B	109,2±1,1A ^b	R+A+B	102,7±1,5B ^c
	R+V+B	111,3±1,3A ^a	R+V+B	108,9±0,5A ^b	R+V+B	102,8±1,4B ^c
	A+V+B	109,5±0,7A ^a	A+V+B	109,5±0,2A ^b	A+V+B	107,3±1,4A ^b
	B+B	110,5±0,8A ^a	B+B	108,2±0,5AB ^b	B+B	107,6±1,2B ^b
	B+O	110,8±0,5A ^a	B+O	110,8±0,5A ^{ab}	B+O	108,4±0,2A ^b
	O+O	111,4±0,8A ^a	O+O	112,3±0,3A ^a	O+O	111,6±0,6A ^a
² Cosecha 111,4± 0,6						
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			**			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			**			

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 4. Evolución de la saturación de hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.

Saturación						
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	(C*) Medias	Tiempo de Almacenaje en días	(C*) Medias			
Cosecha	39,6±1,2	Cosecha	39,6±1,2			
R+A+B	44,6±1,4	3	41,9±1,7			
R+V+B	45,9±1,9	6	42,9±1,2			
A+V+B	45,2±1,1	9	46,1±1,2			
B+B	44,6±1,7					
B+O	42,9±0,7					
O+O	38,8±1,4					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
	(C*)					
	¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias			
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	40,4±0,8 ^B ^b	R+A+B	42,3±2,3 ^B ^{ab}	R+A+B	50,7±0,9 ^A ^a
	R+V+B	41,6±2,8 ^B ^{ab}	R+V+B	45,7±1,3 ^B ^a	R+V+B	50,4±1,6 ^A ^a
	A+V+B	45,2±1,6 ^A ^a	A+V+B	43,7±0,3 ^A ^{ab}	A+V+B	46,5±1,4 ^A ^b
	B+B	42,5±2,0 ^A ^{ab}	B+B	46,3±1,4 ^A ^a	B+B	44,9±1,7 ^A ^b
	B+O	41,5±1,0 ^B ^{ab}	B+O	41,5±1,0 ^B ^b	B+O	45,7±0,2 ^A ^b
	O+O	40,3±1,9 ^A ^b	O+O	37,9±0,9 ^A ^b	O+O	38,1±1,3 ^A ^c
² Cosecha 39,6±1,2						
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz						**
Tiempo de almacenaje en días						**
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje						**

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E.

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 5. Fuerza máxima en (N) para el corte en hojas de rúcula expuestas a distintos espectros y condiciones de luz almacenadas 9 días a 4°C.

Fuerza en Newton						
Factor (A) Espectros- condiciones de luz	(N) Medias ² NS	Factor (B) Tiempo de Almacenaje en días			(N) Medias ² NS	
Cosecha	1,78±0,7	Cosecha			1,78±0,7	
R+A+B	2,24±0,2	3			2,31±0,2	
R+V+B	1,99±0,2	6			2,25±0,3	
A+V+B	2,36±0,2	9			2,33±0,2	
B+B	2,27±0,3					
B+O	2,38±0,2					
O+O	2,53±0,3					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9	
	(N)					
	Medias ² NS		Medias ² NS		Medias ² NS	
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	2,21±0,2	R+A+B	2,22±0,2	R+A+B	2,29±0,3
	R+V+B	2,16±0,2	R+V+B	1,99±0,2	R+V+B	1,83±0,1
	A+V+B	2,68±0,1	A+V+B	2,31±0,2	A+V+B	2,08±0,2
	B+B	2,20±0,3	B+B	1,97±0,2	B+B	2,66±0,3
	B+O	2,23±0,2	B+O	2,48±0,3	B+O	2,45±0,2
	O+O	2,39±0,4	O+O	2,55±0,4	O+O	2,66±0,2
Cosecha 1,78±0,7						
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz					NS	
Tiempo de almacenaje en días					NS	
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					NS	

¹Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4)²NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 6. Porcentaje de daño celular en hojas de rúcula tratadas con distintos espectro-condiciones tras 9 días de almacenamiento a 4°C.

Espectros-condiciones de luz	Media % células dañadas
¹ Cosecha	6,0±1,2
R+A+B ₉	81,0±2,9 ^a
R+V+B ₉	72,0±1,2 ^b
A+V+B ₉	65,3±1,8 ^b
B+B ₉	57,0±1,8 ^c
B+O ₉	49,0±4,0 ^d
O+O ₉	34,0±2,3 ^e
Significancia	**

¹ Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=3) ± E.E

² Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas $p > 0.05$ (n=3) ± E.E.

** Significativo para p -valor < 0,01

Cuadro 7. Concentración de fenoles totales de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Concentración de fenoles totales mg EAG/g pf						
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	mg EAG/ g pf ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	mg EAG/ g pf ¹ Medias			
Cosecha	5,8±0,1	Cosecha	5,8±0,1			
R+A+B	5,8±0,3 ^{bc}	3	5,4±0,2 ^b			
R+V+B	5,6±0,2 ^c	6	6,1±0,3 ^a			
A+V+B	5,7±0,2 ^{bc}	9	6,2±0,2 ^a			
B+B	6,0±0,2 ^{abc}					
B+O	6,1±0,2 ^{ab}					
O+O	6,3±0,3 ^a					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3		6		9	
	mg EAG/ g pf					
	Medias NS	Medias NS		Medias NS		
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	5,2±0,4	R+A+B	5,7±0,1	R+A+B	6,5±0,2
	R+V+B	5,2±0,4	R+V+B	5,8±0,1	R+V+B	5,9±0,1
	A+V+B	5,7±0,2	A+V+B	5,2±0,3	A+V+B	6,1±0,1
	B+B	5,7±0,1	B+B	6,3±0,1	B+B	6,0±0,1
	B+O	5,3±0,2	B+O	6,8±0,2	B+O	6,3±0,2
	O+O	5,8±0,1	O+O	6,9±0,9	O+O	6,3±0,1
		² Cosecha 5,8±0,1				
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz					*	
Tiempo de almacenaje en días					**	
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					NS	

¹Medias con una letra común en sentido vertical son estadísticamente iguales $p > 0.05$ ($n=4$) \pm E.E.

² Valor inicial al momento de la cosecha

*Significativo para p – valor $< 0,05$

** Significativo para p –valor $< 0,01$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 8. Capacidad antioxidante total por FRAP de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C

Factor (A)		Factor (B)	
Espectros-condiciones de luz	$\mu\text{g ET /g pf}$ ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	$\mu\text{g ET /g pf}$ ¹ Medias
Cosecha	1.014,7±52,7	Cosecha	1.014,7±52,7
R+A+B	1.277,0±36,3	3	1.309,4±24,8
R+V+B	1.296,2±29,1	6	1.517,6±32,9
A+V+B	1.362,9±27,2	9	1.480,4±35,8
B+B	1.495,6±39,8		
B+O	1.712,2±25,1		
O+O	1.470,8±29,4		

Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días		3	6	9		
		$\mu\text{g ET/g pf}$				
		¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias		
Espectros-condiciones de luz	R+A+B	1.350,9±25,0A ^{bc}	R+A+B	1.205,8±40,6B ^c	R+A+B	1.274,5±43,3A ^c
	R+V+B	985,5±25,7C ^e	R+V+B	1.336,6±24,5B ^d	R+V+B	1.566,6±37,2A ^{ab}
	A+V+B	1.224,7±11,8C ^d	A+V+B	1.382,1±42,2B ^{cd}	A+V+B	1.481,9±27,6A ^b
	B+B	1.433,3±38,2B ^b	B+B	1.438,2±41,8B ^c	B+B	1.615,5±39,4A ^a
	B+O	1.531,3±24,4B ^a	B+O	2.073,0±23,2A ^a	B+O	1.531,5±27,7B ^{ab}
	O+O	1.330,5±23,4B ^c	O+O	1.669,7±25,2A ^b	O+O	1.412,4±39,6B ^b

²Cosecha 1.014,7±52,7

Significancia de factores	
Espectros-condiciones de luz	**
Tiempo de almacenaje en días	**
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje	**

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 9. Capacidad antioxidante total por DPPH de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

Factor (A)		CAT en $\mu\text{g ET / g pf}$				
Espectros- condiciones de luz	$\mu\text{g ET / g pf}$ ¹ Medias	Factor (B)		$\mu\text{g ET / g pf}$ ¹ Medias		
		Tiempo de Almacenaje en días				
Cosecha	869,7 \pm 51,6	Cosecha		869,7 \pm 51,6		
R+A+B	864,3 \pm 65,4	3		927,4 \pm 32,8		
R+V+B	892,0 \pm 32,7	6		849,3 \pm 36,1		
A+V+B	811,0 \pm 27,9	9		749,6 \pm 45,7		
B+B	925,1 \pm 48,7					
B+O	709,6 \pm 25,5					
O+O	850,6 \pm 29,0					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6		9		
	$\mu\text{g ET/g pf}$					
	¹ Medias	¹ Medias		¹ Medias		
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	1.037,8 \pm 53,5A ^a	R+A+B	1.060,0 \pm 65,3A ^a	R+A+B	495,1 \pm 77,4B ^c
	R+V+B	1.108,7 \pm 15,4A ^a	R+V+B	883,6 \pm 22,2B ^b	R+V+B	683,6 \pm 60,6C ^b
	A+V+B	886,7 \pm 41,0A ^b	A+V+B	922,8 \pm 12,1A ^b	A+V+B	623,6 \pm 30,4C ^b
	B+B	885,1 \pm 56,1A ^b	B+B	969,3 \pm 48,5A ^{ab}	B+B	920,8 \pm 41,4A ^a
	B+O	760,0 \pm 13,5B ^c	B+O	440,9 \pm 27,4C ^c	B+O	927,9 \pm 35,7A ^a
	O+O	885,9 \pm 17,3A ^b	O+O	819,0 \pm 41,2A ^b	O+O	847,0 \pm 28,5A ^a
		² Cosecha 869,7 \pm 51,6				
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz	**					
Tiempo de almacenaje en días	**					
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje	**					

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) \pm E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) \pm E.E.

** Significativo para p – valor $< 0,01$

NS: no significativo p – valor $> 0,05$

Cuadro 10. Concentración de clorofila total de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C.

CTC en mg/g Pf			
Factor (A)		Factor (B)	
Espectros- condiciones de luz	mg /g pf ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	mg /g pf ¹ Medias
Cosecha	3,37±0,06	Cosecha	3,37±0,06
R+A+B	3,14±0,04	3	3,18±0,02
R+V+B	3,06±0,02	6	3,14±0,02
A+V+B	2,95±0,04	9	3,05±0,04
B+B	3,09±0,03		
B+O	3,23±0,01		
O+O	3,27±0,03		

Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días		3	6	9		
mg/g pf						
		¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias		
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	3,21±0,02A ^b	R+A+B	3,23±0,03A ^a	R+A+B	2,99±0,09B ^b
	R+V+B	3,18±0,01A ^b	R+V+B	3,10±0,01B ^b	R+V+B	2,92±0,04B ^b
	A+V+B	3,03±0,04A ^c	A+V+B	2,91±0,04A ^b	A+V+B	2,90±0,03B ^b
	B+B	3,15±0,01A ^b	B+B	3,13±0,02A ^b	B+B	2,98±0,06B ^b
	B+O	3,18±0,01A ^b	B+O	3,26±0,01A ^a	B+O	3,25±0,01A ^a
	O+O	3,33±0,05A ^a	O+O	3,24±0,02A ^a	O+O	3,26±0,01A ^a

²Cosecha 3,37±0,06

Significancia de factores		
Espectros-condiciones de luz		**
Tiempo de almacenaje en días		**
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje		**

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 11. Recuento de bacterias mesófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C días.

Mesófilos log ufc/g						
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	log. ufc/g ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	log. ufc/g ¹ Medias			
Cosecha	1,4±0,06	Cosecha	1,4±0,06			
R+A+B	4,2±0,07	3	1,9±0,03			
R+V+B	4,7±0,03	6	5,2±0,03			
A+V+B	4,6±0,08	9	7,1±0,08			
B+B	5,4±0,04					
B+O	4,5±0,03					
O+O	4,9±0,04					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
	log ufc/g					
	¹ Medias	¹ Medias	¹ Medias			
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	1,7±0,04C ^c	R+A+B	5,3±0,06B ^{ab}	R+A+B	5,6±0,12B ^d
	R+V+B	1,8±0,03C ^{bc}	R+V+B	5,3±0,06B ^{ab}	R+V+B	7,1±0,00B ^b
	A+V+B	2,0±0,00C ^b	A+V+B	5,5±0,03B ^a	A+V+B	6,4±0,21B ^c
	B+B	3,0±0,03C ^a	B+B	5,1±0,03B ^b	B+B	8,1±0,06B ^a
	B+O	1,5±0,06C ^c	B+O	5,0±0,00B ^b	B+O	7,1±0,03A ^b
	O+O	1,5±0,03C ^c	O+O	7,1±0,00B ^b	O+O	8,2±0,09A ^a
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz			**			
Tiempo de almacenaje en días			**			
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje			**			

¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

** Significativo para p – valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 12. Recuento de bacterias psicrófilas de acuerdo con el espectro-condición de luz aplicados sobre hojas de rúcula durante 9 días de almacenamiento a 4°C días.

Psicrófilos log ufc/g						
Factor (A)		Factor (B)				
Espectros- condiciones de luz	log ufc/g pf ¹ Medias	Tiempo de Almacenaje en días	log ufc/g pf ¹ Medias			
Cosecha	2,0±0,10	Cosecha	2,0±0,10			
R+A+B	3,4±0,09	3	1,9±0,06			
R+V+B	3,6±0,14	6	2,7±0,14			
A+V+B	3,5±0,06	9	6,0±0,11			
B+B	3,8±0,06					
B+O	3,3±0,09					
O+O	3,7±0,17					
Interacción A X B						
Tiempo de almacenaje en días	3	6	9			
log ufc / g						
¹ Medias		¹ Medias		¹ Medias		
Espectros- condiciones de luz	R+A+B	2,0±0,00C ^{ab}	R+B	2,6±0,09B ^c	R+B	5,4±0,18A ^c
	R+V+B	2,1±0,10B ^{ab}	A+B	2,3±0,15B ^d	A+B	6,3±0,18A ^b
	A+V+B	1,2±0,09C ^c	V+B	3,1±0,10B ^b	V+B	6,1±0,00A ^b
	B+B	1,8±0,03C ^b	B+B	2,2±0,10B ^d	B+B	7,3±0,06A ^a
	B+O	2,2±0,10B ^a	B+O	2,2±0,10B ^d	B+O	5,6±0,06A ^c
	O+O	2,1±0,03B ^{ab}	O+O	3,6±0,30B ^a	O+O	5,4±0,18A ^c
² Cosecha 2,0±0,10						
Significancia de factores						
Espectros-condiciones de luz					**	
Tiempo de almacenaje en días					**	
Espectros-condiciones de luz X tiempo de almacenaje					**	

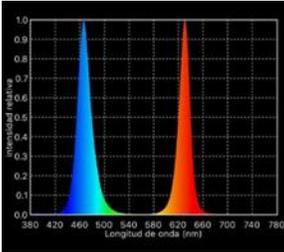
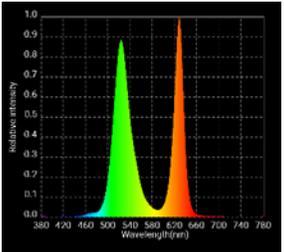
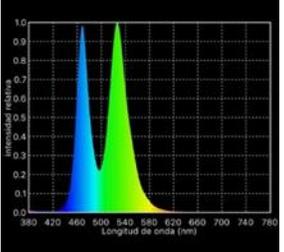
¹Medias con letras mayúsculas distintas en sentido horizontal en la misma fila indican diferencias entre los niveles del factor (B) agrupados dentro de un nivel del factor (A). Letras minúsculas distintas en sentido vertical en la misma columna, indican diferencias entre los niveles del factor (A) dentro de un nivel del factor (B). $p > 0.05$ (n=4) ± E.E

² Valor inicial de referencia al momento de la cosecha (n=4) ± E.E.

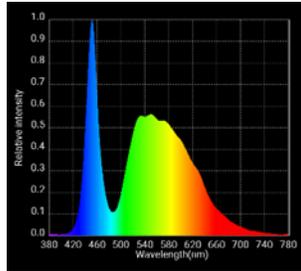
** Significativo para p –valor < 0,01

NS: no significativo p – valor > 0,05

Cuadro 13. Combinación de espectros de luz LED (azul, verde, roja y blanca) y condiciones de luz (blanca+ oscuridad y oscuridad) aplicados sobre hojas de rúcula tamaño “baby” en bolsas plásticas almacenadas durante nueve días dentro de la cámara frigorífica a $4,0 \pm 1^\circ\text{C}$. Segundo experimento. Intensidades lumínicas promedio y longitudes de cada tipo de condición de luz.

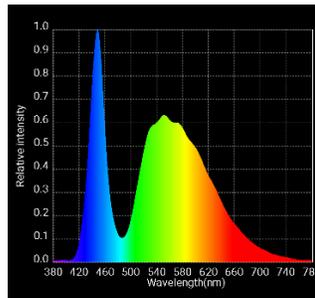
Espectros-condiciones de luz	Longitud de onda	Gráficos de los espectros de luz	Intensidades ajustadas en promedio
Rojo + azul + blanco	570-670 nm 425-470 nm		$54 \pm 3,0 /$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{ m}^2$
Rojo + verde + blanco	570-670 nm 500-550 nm		$54,2 \pm 2,0 /$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{ m}^2$
Azul + verde + blanco	425-470 nm 500-550 nm		$54 \pm 2,0 /$ $38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{ m}^2$

Blanco + blanco 380-780 nm



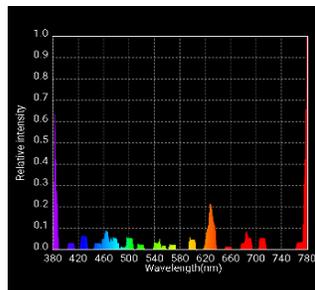
$54 \pm 1.4 / 38,9$
 $\pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{ m}^2$

Blanco + oscuridad 380-780 nm



$38,9 \pm 0,7 \mu\text{moles s}^{-1} \text{ m}^2$

Oscuridad + oscuridad -



$0,01 \mu\text{moles s}^{-1} \text{ m}^2$

Intensidades tomadas y grafico generados con un espectrómetro Ligthing Passport, Asense Tek.

Cuadro 14. Condiciones ambientales durante el almacenamiento de las hojas de rúcula tamaño “baby” tratadas con la combinación de distintos espectros-condiciones de luz durante nueve días. Experimento 2.

Tratamientos Espectros- condiciones de luz	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)		
	Cámara de luz (estante)	Góndola (mesa)	Promedio de temperaturas durante el almacenamiento	Cámara de luz (estante)	Góndola (mesa)	Promedio de %HR durante el almacenamiento
R+A+B	7,2±0,4	6,3±0,1	6,8 ±0,3	72,9±1,5	90±0,8	81,6± 1,3
R+V+B	7,4±0,3	6,3±0,1	6,9 ± 0,2	69,2±1,9	90±0,8	79,6 ± 1,4
A+V+B	9,1±0,4	6,3±0,1	7,7 ± 0,3	62,4±2,1	90±0,8	75,9 ± 1,5
B+B	11±0,3	6,3±0,1	8,7 ± 0,2	62±2,7	90±0,8	76 ± 1,8
B+O	6,2±0,1	4,0±0,1	5,1 ± 0,1	90±0,8	94±0,8 (oscuridad)	92 ± 0,8
	Cámara de oscuridad					
O+O	4,0±0,1		4,0 ± 0,1	94±0,8		94±0,8

Los valores corresponden al promedio de las temperaturas y % HR medidos durante los 9 días de almacenamiento, ± E.E.

Cuadro 15. Porcentaje de O₂ y CO₂, al interior de las bolsas plásticas durante el almacenaje de hojas de rúcula tratadas con distintos espectros-condiciones dentro de una cámara frigorífica a 4°C. Experimento 2.

Espectro-condiciones de luz	Días de almacenaje					
	0		3		6	
	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂
R + A + B	21,0±0,0	0,0±0,0	21,1±0,1	0,0±0,0	20,3±0,1	0,0±0,0
R + V + B	21,0±0,0	0,0±0,0	20,8±0,1	0,0±0,0	20,6±0,0	0,0±0,0
A + V + B	21,0±0,0	0,0±0,0	20,8±0,2	0,0±0,0	20,5±0,1	0,0±0,0
B + B	21,0±0,0	0,0±0,0	21,0±0,1	0,0±0,0	20,3±0,1	0,0±0,0
B + O	21,0±0,0	0,0±0,0	19,5±0,2	0,7±0,1	20,1±0,2	0,0±0,0
O + O	21,0±0,0	0,0±0,0	13,4±0,5	2,9±0,2	13,4±0,8	1,2±0,0

La medición se realizó utilizando un analizador de gases portátil (Dansensor, Check Point, Ringsted, Dinamarca).

