

Efecto de la radiación UV – C sobre la inhibición de *E. coli* inoculados en hojas de rúcula**Effect of UV– C radiation on *E. coli* inhibition in ready to eat arugula salads**Ives Yoplac Tafur¹, Cielo Char Aubry², Andrea Hinojosa³ y Víctor H. Escalona Contrera⁴**RESUMEN**

En esta investigación, se evaluó el efecto de la luz ultravioleta (UV-C) sobre el crecimiento microbiano y la calidad sensorial en hojas de rúcula, inoculadas con *Escherichia coli* (*E. coli*). Las hojas se lavaron con NaOCl (100 mg·L⁻¹, pH 6,5) y se inocularon con *E. coli* (6,2 log UFC·g⁻¹). Posteriormente, estas fueron tratadas con radiación UV-C de 5 a 25 kJ·m⁻² y un testigo sin aplicación. Se envasaron en bolsas perforadas (aire) y almacenadas a 5 °C durante 10 días. La radiación UV-C disminuyó el recuento inicial de enterobacterias y *E. coli* (entre 0,1 y 0,8 unidades log, respectivamente) con respecto al testigo. Las altas dosis, iguales o superiores a 20 kJ·m⁻², afectaron negativamente la apariencia general e intensidad de color de las hojas. Las dosis entre 5 y 15 kJ·m⁻² presentaron una mayor reducción en el crecimiento de *E. coli* y enterobacterias; así como también, una mejor apariencia e intensidad de color en hojas de rúcula.

Palabras clave: Dosis UV-C, enterobacterias, apariencia, intensidad de color.

ABSTRACT

The effect of ultraviolet light (UV-C) over the microbial growth and organoleptic quality of arugula leaves inoculated with *Escherichia coli* was evaluated. The leaves were washed with a NaOCl solution (100 mg·L⁻¹, pH 6,5) and inoculated with *E. coli* (6,2 log CFU·g⁻¹). The leaves were treated with UV-C radiation with doses from 5 to 25 kJ·m⁻² and also a control without treatment was considered. The treated arugula was packaged in perforated plastic bags (air) and stored at 5 °C for 10 days.

The UV-C light reduced the initial count of *Enterobacteriaceae* and *E. coli* (between 0,1 and 0,8 log units) compared with the control. High doses, equal or higher than 20 kJ·m⁻², negatively affected the general appearance and colour intensity of the leaves. Doses between 5 and 15 kJ·m⁻² showed a greater reduction in the growth of *E. coli* and *Enterobacteriaceae* and the arugula leaves presented a better appearance and color intensity.

Keywords: UV-C Doses, *Enterobacteriaceae*, appearance, color intensity.

¹Ingeniero Agroindustrial. Docente de la UNTRM. Correo electrónico: iyoplac.fizab@untrm.edu.pe

²Bioquímica. Universidad de Chile. Investigadora del Departamento de Agroindustria y Enología. Santa Rosa N° 11315, La Pintana, Santiago.

³Ingeniera Agrónoma. Universidad de Chile. Investigadora del Centro de Estudios Poscosecha.

⁴Ingeniero Agrónomo. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Teléf.: +562 9785841 Fax: +562 9785813 e-mail: vescalona@uchile.cl; website: www.cepoc.cl

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha centrado, cada vez más, la atención en la seguridad microbiana de hortalizas mínimamente procesadas en fresco (MPF); principalmente, en los métodos de intervención para disminuir o eliminar los patógenos microbianos de los productos MPF (Martínez *et al.*, 2006ab). Las hortalizas de hoja MPF son muy susceptibles a los daños mecánicos y al crecimiento de hongos y bacterias, ya que estos reducen drásticamente su vida útil. Los productos MPF, por lo general, contienen microorganismos, tales como bacterias aerobias psicotrofas, coliformes fecales, hongos, mohos y bacterias pectolíticas (Cantwelly Kasmire, 2002). El cloro ha sido utilizado por varias décadas, y sigue siendo el desinfectante común en la industria alimentaria. Sin embargo, a menudo, su uso es insuficiente para reducir la microflora normal que puede incluir patógenos transmitidos por alimentos (Garrett, 2002; Martínez *et al.*, 2006b).

Con el fin de disminuir la contaminación microbiana, se han estudiado agentes de desinfección alternativos o complementarios al hipoclorito de sodio (NaClO). Uno de estos agentes desinfectantes es la radiación ultravioleta-C (UV-C), con longitudes de onda de 200 a 280 nm. El equipo que se utiliza es relativamente barato, fácil de usar, genera una radiación que es letal para la mayoría de los microorganismos (Escalona *et al.*, 2010). La desinfección por radiación UV-C es un tratamiento físico que no deja residuos, daña el ADN microbiano y puede causar la muerte celular, sin alterar la estructura de las células vegetales (Artés *et al.*, 2009). Sin embargo, además de la radiación, existen sistemas de reparación en los microorganismos, tales como la fotoreparación y factores proteicos. Aunque, se ha demostrado que con un ambiente oscuro puede evitarse la fotoreactivación en células expuestas a la luz UV-C (Wright y Cairns, 2004; Bintsis *et al.*, 2000).

La eficacia de la radiación UV-C parece ser independiente de la temperatura (en el rango de 5 a 37 °C), pero depende de la incidencia de la radiación, determinada por la estructura y la topografía de la superficie de los productos tratados (Bintsis *et al.*, 2000).

Según Escalona *et al.* (2010), en hojas de espinacas tiernas MPF conservadas a 5 °C, la radiación UV-C redujo inicialmente el recuento de *L. monocytogenes* inoculado en las hojas. Durante la conservación, experimentaron un aumento y, después de 13 días, los recuentos fueron inferiores al testigo sin tratar. De igual modo, en hojas inoculadas con *Salmonella entérica*, la radiación UV-C redujo los recuentos, en comparación al testigo; estos se mantuvieron bajos hasta el día 2, después se incrementaron gradualmente llegando a valores superiores que las muestras sin tratar. Estos resultados demostrarían una disminución de los recuentos inmediatamente después de la aplicación UV-C, debido a la acción microbicida inmediata de la luz UV-C (Guerrero y Barbosa, 2004).

En estudios realizados en tiras de espinaca a 5 °C, con radiación de UV-C de 4,5 a 11,4 kJ·m⁻², se obtuvieron recuentos iniciales de aerobios mesófilos (RAM) de 4,2 a 4,5 log UFC·g⁻¹, en relación a 5,2 log UFC·g⁻¹ del testigo sin tratar (Artés-Hernández *et al.*, 2008).

En estudios realizados en tiras de lechuga a 5 °C, tratadas con dosis UV-C de 1,18; 2,37 y 7,11 kJ·m⁻², tuvieron un RAM promedio de 5,0 log UFC·g⁻¹ hasta el día 6. Después de 11 días, las muestras tratadas obtuvieron recuentos de 6,5 y 7,2 log UFC·g⁻¹, y el testigo 8,0 log UFC·g⁻¹ (Allende *et al.*, 2006).

Según los antecedentes descritos, se puede observar el efecto de la radiación UV-C en la reducción del recuento de microorganismo. Sin embargo, la información existente es limitada en estudios *in vivo*, donde se haya evaluado el efecto de la radiación UV-C sobre hortalizas, inoculadas con microorganismos y muy en especial en hojas de rúcula inoculadas con *Escherichia coli* (*E. coli*).

En este estudio se evaluó el efecto de la radiación UV-C para reducir el crecimiento de *E. coli*, previamente inoculada, en hojas de rúcula (*Eruca sativa* var. *vesicaria*), durante 10 días a 5 °C.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio, material vegetal y condiciones de estudio

Este trabajo se realizó en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Se utilizaron hojas de rúcula (*Eruca sativa* var. *vesicaria*), provenientes del huerto comercial de la empresa "Hidrohuerta Tango Ltda.", ubicada en la Comuna de Calera de Tango (Región Metropolitana, Chile). Estas hojas se cultivaron en verano (Figura 1). La forma de cosecha fue manual con tijera, realizada en el mes de febrero de 2012. Las características iniciales promedio de las hojas fueron un peso de 0,5 g, largo de 8,8 cm y ancho de 3,6 cm. En cuanto al color, las hojas tuvieron una luminosidad de 44,8; saturación de 30,0 y tono de 125,6.



Figura 1. Hojas de rúcula utilizadas en la inoculación con *E. coli* y radiación UV-C.

Para la inoculación de hojas de rúcula se utilizó cepas bacterianas de *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC 35218 no patógena, obtenida de la distribuidora autorizada Agrobiotek Internacional (ABT®) en forma de "pellets" liofilizado, en un vial de 10 g y conservadas a 0 °C.

En la aplicación de las dosis de radiación UV-C se utilizó una cabina cerrada, cuyas dimensiones fueron 1,25 m de largo; 0,5 m de ancho y 0,6 m de alto. El equipo estuvo provisto de 6 lámparas germicidas sin filtro de 36 W (TUV-36W/G36 T8, Philips), ubicadas tres en la parte superior y tres en la inferior. Al centro, a una distancia de 0,3 m del lado superior e inferior, sobre una malla de acero inoxidable fija, se colocó, en promedio, 300 g de hojas por vez. Las hojas de rúcula se envasaron en bolsas de polipropileno (PP), con una baja permeabilidad al O₂ (25 mL·m⁻²·día⁻¹·bar⁻¹) y baja permeabilidad al CO₂ (71 mL·m⁻²·día⁻¹·bar⁻¹) obtenidas de la empresa "Plaspak Maquinaria"; cuyas dimensiones fueron de 10 x 20 cm. Se practicaron 7 perforaciones en cada cara de las bolsas, con una aguja de 0,8 mm de diámetro, con el propósito de alcanzar una atmósfera similar al aire (O₂ > 19% y CO₂ < 1,0%).

Preparación de la muestra

Las hojas de rúcula se seleccionaron; clasificaron por tamaño, utilizándose aquellas entre 8,0 y 9,5 cm de largo y de 3,2 a 3,9 cm de ancho y pre-acondicionaron en una sala de manipulación a 8 °C. Se realizó un primer lavado con agua potable, un segundo lavado en una solución de hipoclorito de sodio (95 mg L⁻¹, pH 6,5) y un enjuague con agua estéril (agua destilada autoclavada a 121 °C por 15 min, luego enfriada a 5 °C). Todas las inmersiones se realizaron a 5 °C por 1 minuto; posteriormente, se escurrieron y centrifugaron manualmente durante 3 y 1 minuto, respectivamente.

Inoculación, tratamientos y condiciones de almacenamiento

El inoculo se preparó transfiriendo un cultivo conservado en un tubo de ensayo a 0 °C de *E. coli* ATCC 35218 no patógena, a un matraz Erlenmeyer con 100 mL de Caldo Tripteína Soja con 0,6% de Extracto de Levadura (CTS-E) y se incubó con agitación a 37 °C durante 24 h. La inoculación se realizó por inmersión de las hojas de rúcula en una solución compuesta por 1 mL de inoculo por cada 1000 mL de agua peptona al 0,1%. Esta solución presentó un recuento inicial de *E. coli* de 9 log UFC·g⁻¹. Seguidamente, se aplicó luz UV-

C en una cabina cerrada antes descrita; la intensidad de la luz UV-C y la distancia se mantuvieron constantes, y la dosis de aplicación varió con los tiempos de exposición. La intensidad se determinó con un radiómetro (Black Ray®, modelo J225, Upland, EE. UU.) que mide la intensidad UV-C en $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Así, mediante la multiplicación de la intensidad y el tiempo de exposición en segundos, se obtuvo la dosis en $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Las dosis de radiación que se emplearon se muestran en la Tabla 1. Posteriormente, se pesaron muestras de 20 g; se envasaron en bolsas perforadas de PP de 10 x 20 cm y termosellaron empleando un equipo sellador de bolsas plásticas (Impulse Sealer Tew Equipment Co, Hsien, Taiwán). Finalmente, las bolsas con las hojas de rúcula procesadas se almacenaron a $5\pm 0,5$ °C y 95% HR durante 10 días.

Las evaluaciones se realizaron los días 0, 2, 6 y 10.

Tabla 1. Dosis de radiación ultravioleta (UV-C) aplicadas en hojas de rúcula inoculadas con *E. coli*.

| Tratamiento | Dosis de radiación UV-C ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|-------------|---|
| 1 | 0 |
| 2 | 5 |
| 3 | 10 |
| 4 | 15 |
| 5 | 20 |
| 6 | 25 |

Composición de la atmósfera modificada

La evolución de la concentración de gases (CO_2 y O_2) al interior de las bolsas de PP con las hojas de rúcula se determinó por medio de un analizador de gases manual (Checkpoint, PBI Dansensor, Ringsted, Dinamarca) y se expresó como porcentajes de CO_2 y O_2 .

Análisis microbiológico

Las determinaciones microbiológicas se realizaron tomando muestras de 10 g de hojas por cada repetición, los días 0, 2, 6 y 10. Cada muestra se mezcló con agua peptonada tamponada al 0,1% estéril y se homo-

genizó durante 30 segundos en un digestor (Stomacher) (IUL Instruments, Barcelona, España). Se realizaron diluciones seriadas agua peptonada, tamponada al 0,1%. La determinación de *E. coli* y enterobacterias se realizó usando agar eosina azul de metileno (EMB), incubado a 37 °C durante 2 días. Todos los medios de cultivo se adquirieron de Merck (Darmstadt, Alemania). Los recuentos microbiológicos se expresaron como el logaritmo de unidad formadora de colonia por gramo ($\log \text{UFC}\cdot\text{g}^{-1}$).

Determinación del aspecto visual

Las hojas de rúcula inoculadas con *E. coli* se evaluaron sensorialmente por su aspecto visual, en apariencia e intensidad de color. Se utilizó el método de análisis descriptivo-cuantitativo, aplicado a un panel de 10 jueces semientrenados, conocedores de la rúcula, usando una pauta no estructurada de 0 a 15 cm. A cada juez se le proporcionó una bolsa sellada con las hojas. Esta evaluación se realizó en el día 10.

Diseño de experimentos y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 6 tratamientos y 3 repeticiones cada uno, en la que cada dosis de UV-C correspondió a un tratamiento (Tabla 1). La unidad experimental correspondió a una bolsa con 20 g de hojas. Los resultados obtenidos de la concentración atmosférica al interior de las bolsas, recuento microbiológico y aspecto visual se evaluaron con un análisis de varianza (ANDEVA) con un 5% de significancia. Cuando se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Los datos se analizaron estadísticamente mediante el programa MINITAB Release 16.1.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición de la atmósfera modificada

Concentración de CO_2 (Figura 2A): Se mantuvo constante, sin diferencias entre tratamientos durante la conservación; similar al aire, con valores de 0,1 a 0,3%.

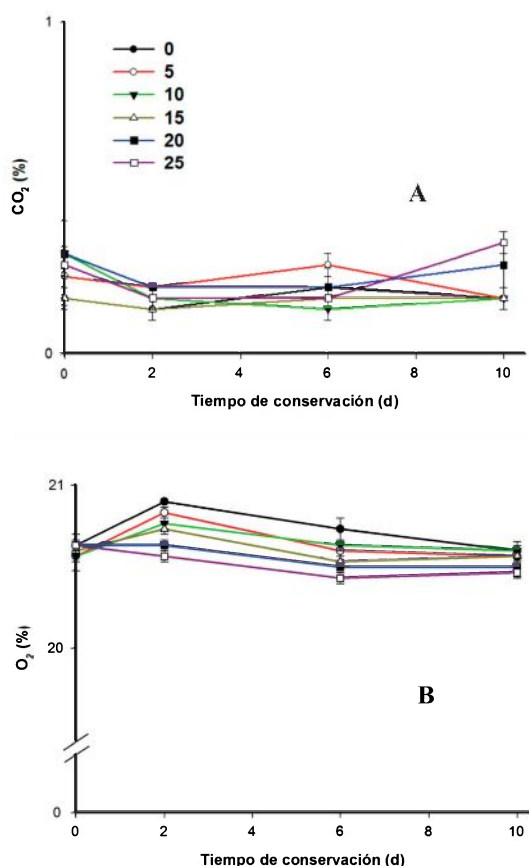


Figura 2. Evolución de la concentración de CO₂ (A) y O₂ (B) en el interior de las bolsas perforadas con hojas de rúcula, tratadas con UV-C (kJ·m⁻²) durante 10 días a 5 °C. Las barras indican el error estándar (n=3).

Concentración de O₂ (Figura 2B): La concentración del O₂ en el interior de las bolsas fue similar al aire, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos. En Artés-Hernández *et al.* (2008), tiras de espinaca a 5 °C, envasadas en atmósfera modificada pasiva, con dosis de 0 a 11,35 kJ·m⁻², después de 13 días, obtuvieron de 8 a 11% O₂ y de 7 a 10 % CO₂; mostrando que la radiación UV-C no afectó los cambios de estos gases dentro de las bolsas. En Allende *et al.* (2006), tiras de lechuga, envasadas en bolsas de poliestireno con atmósfera modificada pasiva a 5 °C por 10 días y tratadas con UV-C, obtuvieron un aumento de la concentración de CO₂ a medida que se incrementó la dosis; de igual modo, observaron que la menor concentración de O₂ se produjo con el aumento de radiación UV-C.

Análisis microbiológico

Recuento de *E. coli*: Las hojas de rúcula procesadas presentaron recuentos iniciales de <1 log UFC·g⁻¹.

Después de ser inoculadas el testigo sin radiación alcanzó un recuento inicial de 6,2 log UFC·g⁻¹ (Figura 3), el que fue significativamente mayor a las muestras tratadas con 5,4 a 5,8 log UFC·g⁻¹. Esto indicaría un efecto de reducción inicial de la radiación UV-C sobre la población de *E. coli*. El recuento del *E. coli* en el tiempo presentó una ligera disminución. El día 10, las dosis 10 y 15 kJ·m⁻² presentaron recuentos significativamente menores de 4,0 log UFC·g⁻¹, en comparación a los otros tratamientos. El efecto de la radiación UV-C se observó al inicio y posteriormente los recuentos se mantendrían hasta el final del almacenamiento. Un comportamiento similar obtuvo Escalona *et al.* (2010) y Artés-Hernández *et al.* (2008). La disminución del recuento en el tiempo se podría deber a la competencia de *E. coli* con otras enterobacterias presentes en las hojas.

Según Escalona *et al.* (2010), en estudios en tiras de espinaca inoculadas con *Salmonella enterica* a 5 °C, se observó que la radiación UV-C redujo en 1 unidad log, respecto al testigo sin UV-C; sin embargo, en el tiempo, estos recuentos fueron aumentando alcanzando valores mayores que el testigo.

Yaun *et al.* (2004), en estudios realizados en diferentes productos hortofrutícolas inoculados con *Salmonella spp.* y *E. coli* O157: H7, tratado con UV-C, observaron que dosis de 5 a 24 kJ·m⁻² redujeron los recuentos de *E. coli* en la superficie de manzana Red Delicious, enteras sin encerar. En cambio dosis de 9 a 24 kJ·m⁻² lograron una mayor reducción de *Salmonella spp.* y *E. coli* O157: H7 en la superficie de hojas de lechuga.

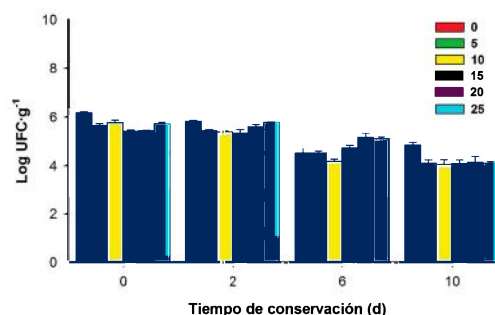


Figura 3. Recuento de *E. coli* de hojas de rúcula tratadas con UV-C (kJ·m⁻²) durante 10 días a 5 °C. Las barras indican el error estándar (n=3).

En estudios realizados en tiras de lechuga, las reducciones máximas del recuento de bacterias se obtuvieron entre 2 y 6 días de almacenamiento, con dosis de 2,37 y 7,11 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (Allende *et al.*, 2006). En rodajas de pepino, la mayor reducción de mesófilos aerobios fue con 4,93 y 9,86 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (Erkan *et al.*, 2001). La eficacia de la radiación UV-C dependería de la dosis, la estructura y la topografía de la superficie del producto sobre el cual se aplica. La sensibilidad de las bacterias a los rayos UV-C varía según la especie y también entre las distintas cepas de la misma especie (Rivera *et al.*, 2007). Por su lado, Zhaung *et al.* (1995), en tomates enteros lavados con solución clorada de 320 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 10 °C y tratados con UV-C, después de 8 días, observaron que este tratamiento fue eficaz para reducir la *Salmonella montevideo*, en comparación a las muestras lavadas con soluciones cloradas de 60 y 110 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y almacenadas a 20 y 30 °C.

Recuento de enterobacterias: En el día de proceso, las hojas de rúcula sin inocular presentaron un recuento inicial de 3,7 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$. Luego de la inoculación y aplicación de UV-C, los recuentos fueron de 5,4 a 5,8 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$ (Figura 4) y el testigo sin UV-C de 6,2 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$. Estos resultados muestran un efecto inicial de la radiación UV-C sobre este grupo de bacterias, respuesta que también fue observada por Escalona *et al.* (2010); Allende *et al.* (2006); y Artés-Hernández *et al.* (2008) en hojas de espinaca y lechuga.

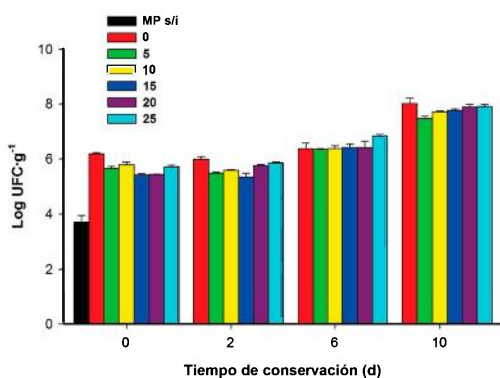


Figura 4. Recuento de enterobacterias de hojas de rúcula tratadas con UV-C ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) durante 10 días a 5 °C. MP s/i: Materia prima procesada sin inocular. Las barras indican el error estándar (n=3).

Los recuentos de enterobacterias presentaron un aumento progresivo durante el almacenamiento. El día 2, las dosis de 5 a 15 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, obtuvieron los menores recuentos con 5,4 a 5,6 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$. El día 6, los recuentos fueron de 6,4 a 6,8 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$, sin diferencias significativas entre tratamientos. El día 10, dosis de 5 a 15 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ presentaron recuentos significativamente menores de 7,5 a 7,8 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$ en comparación al testigo con 8,0 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$.

Allende *et al.* (2006), en hojas de lechuga conservadas a 5 °C, encontraron que dosis UV-C entre 1,18 y 7,11 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ fueron eficaces para reducir el recuento de microorganismos entéricos hasta el día 2, en comparación al testigo sin UV-C que mostró un aumento progresivo durante los 10 días de almacenamiento. Artés-Hernández *et al.* (2008), en tiras de espinaca, tratadas con 4,5 a 11,4 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, observaron que el recuento de enterobacterias se incrementó de 3,5 a 7,0 $\text{log UFC}\cdot\text{g}^{-1}$, después de 6 días a 5 °C. Según Tardón *et al.* (2011), en brotes de alfalfa, observaron que estos recuentos fueron menores cuando los tratamientos correspondieron a 15 y 20 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Varios estudios reportan que las bacterias y levaduras tienen un potente mecanismo de foto-reactivación. La exposición de células a la luz visible después de la radiación UV-C induce a una foto-reparación mediante el cual estos microorganismos pueden restaurar la integridad del ADN (Wright y Cairns, 2004). Por lo tanto, la foto-reactivación hace que las bacterias puedan recuperar su viabilidad después de la radiación UV-C (Sliney, 2001; Arroyo, 2010). Por todo esto, las hojas se deberían envasar rápidamente y almacenar en oscuridad.

Determinación del aspecto visual

Apariencia: La apariencia se evaluó el día 10 y se obtuvieron valores de 8,0 a 10,4 puntos para los tratamientos de 0 a 15 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (Figura 5); mientras que mayores dosis de 20 y 25 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ alcanzaron valores de 7,4 y 7,0, respectivamente. La dosis 5 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ presentó un puntaje significativamente mayor con 10,4 en comparación a los demás tratamientos.

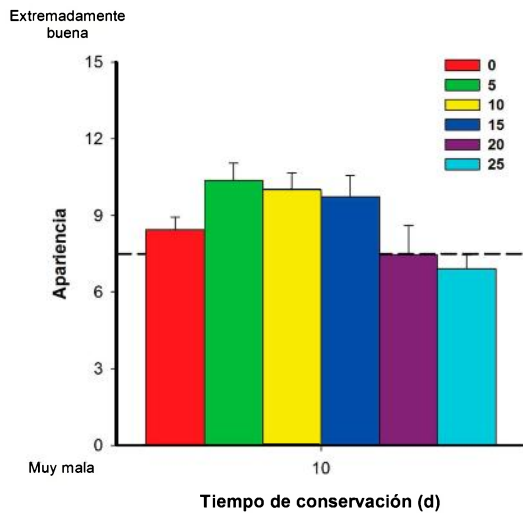


Figura 5. Apariencia de las hojas de rúcula tratadas con UV-C ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) durante 10 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las barras indican el error estándar ($n=3$).

Estos resultados demostrarían que las altas dosis UV-C afectan la apariencia de las hojas (D'Hallewin *et al.*, 2000; citado por Rivera *et al.*, 2007). Esto se debería al desarrollo de necrosis en las hojas tratadas, la que se acentúa con el tiempo de almacenamiento. Según Artés-Hernández *et al.* (2008), también se reporta que altas dosis de $7,9$ y $11,4\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ causan daño en las hojas de espinaca, lo que se manifiesta después de 10 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Allende *et al.* (2006), en hojas de lechuga picadas, después de 10 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, observaron que una dosis de $7,1\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ causó pardeamiento y daños en la textura, respecto a la dosis $1,2\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Estas dosis altas aumentarían la producción de radicales libres y la senescencia de los tejidos vegetales. Por otro lado, la reducción de la textura de los tejidos estaría ligada a los cambios progresivos de la pared celular, así como a la separación de la pared celular, debido a la solubilización de las láminas ricas en pectina, que serían estimuladas y aceleradas por la radiación UV-C (Brady, 1987).

Por el contrario, Ruiz *et al.* (2010), en repollo en tiras, reportaron que las hojas tratadas con 6 y $12\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ presentaron mejor apariencia general, en comparación a las muestras sin UV-C, después de 9 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Intensidad de color: Después de 10 días, las hojas, que recibieron dosis de 0 a $15\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, presentaron una intensidad de color significativamente mayor con

valores de $12,2$ a $12,3$, en comparación a las dosis 20 y $25\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ con $9,5$ y $10,5$ (Figura 6). Estos resultados muestran que las mayores dosis afectan la intensidad de color de las hojas de rúcula.

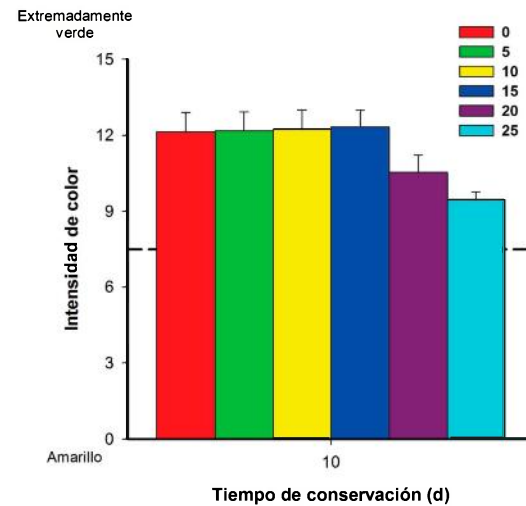


Figura 6. Intensidad de color de las hojas de rúcula tratadas con UV-C ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) durante 10 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las barras indican el error estándar ($n=3$).

En estudios en tiras de lechuga, tratadas con $7,9$ y $11,4\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, se observó pardeamiento (Allende *et al.*, 2006); debido, probablemente, a un daño sobre las paredes y membranas celulares (Rivera *et al.*, 2007). Por el contrario, estudios en rodajas de pepino, obtuvieron un aspecto visual similar con dosis UV-C de 2 a $12\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ después de 12 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Erkan *et al.*, 2001).

De acuerdo a los resultados obtenidos las dosis inferiores de $15\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, aplicadas en la superficie de hojas de rúcula, no alterarían significativamente la apariencia e intensidad de color.

IV. CONCLUSIONES

La radiación UV-C tuvo un efecto en la reducción del recuento inicial tanto de *E. coli* como de enterobacterias.

La apariencia e intensidad de color de las hojas de rúcula se vio afectada con dosis UV-C iguales o superiores a $20\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Las dosis de 5 a $15\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ presentaron una mayor reducción en el crecimiento de microorganismos y una mejor apariencia e intensidad de color en hojas de rúcula durante 10 días a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Becas Internacionales de la Fundación Ford (IFP), a los Proyectos Fondecyt N°1120274 e Inserción de Capital Humano N°79100005 (CONICYT, Chile) por financiar esta investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allende, A., J. L. McEvoy, Y. Luo, F. Artés & C. Y. Wang. «Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed "Red Oak Leaf" Lettuce.» *Food Microbiology*, 2006: 23:241-249.
- Arroyo, D. H. *Estudio del uso combinado de radiación UV-C y empacado al vacío para aumentar la vida poscosecha de carambola (Averrhoa carambola L.) mínimamente procesada*. Tesis de Ingeniero de alimentos, Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencia de la Ingeniería, 2010.
- Artés, F., V. H. Escalona, G. B. Robles, y G. B. Martínez. «Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves.» *Journal Science Food Agriculture* 89, 2008: 414-421.
- Artés, F., P. Gómez, E. Aguayo, V. H. Escalona, & A. Hernández. «Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities.» *Postharvest Biology and Technology*, 2009: 51: 287-296.
- Bintsis, T., E. Litopoulou & R. K. Robinson. «Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry. Review.» *Journal of the Science of food and Agriculture*, 2000: 80: 637-645.
- Brady, C. J. «Fruit ripening.» *Annual Reviews Plant Physiology Unit, Division of Food Research and School of Biological Science, Macquarie University, Australia*, 1987: 38: 155-178.
- Cantwell, M. I. & R. F. Kasmire. «Sistemas de manejo poscosecha: Hortalizas de hoja, tallo y flor.» En *Tecnología de poscosecha de cultivos hortofrutícolas*, de A A Kader, 580. California: Universidad de California, EE.UU, 2002.
- Erkan, M., C. Y. Wang & D. T. Krizek. «UV-C radiation reduces microbial populations and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue.» *Environmental and experimental Botany*, 2001: 45:1-9.
- Escalona, V. H., E. Aguayo, G. B. Martínez, y F. Artés. «UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach» *postharvest biology and technology*, 2010: 56: 223-231.
- Garrett, E. H. «Fresh-cut Produce: Tracks and trends.» En *Fresh-cut fruits and vegetables: science, Technology. and market*, de O Lamikanra, 452. Florida: CRC PRESS, 2002.
- Guerrero, J. A., y G. V. Barbosa. «Advantages and limitations on processing foods by UV light.» *food Science and technology international*, 2004: 10(3): 137-147.
- Martínez, A., A. Allende, R. N. Bennet, F. Ferreres, y M. I. Gil. «Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers.» *postharvest biology and technology*, 2006: 42: 86-97.
- Martínez, A., A. Marín, R. Llorach, F. Ferreres, y M. I. Gil. «Controlled atmosphere preserves quality and phytonutrients in wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*).» *Postharvest Biology and technology*, 2006: 40: 26-33.
- Rivera, D. M., A. A. Gardea, M. A. Martínez, M Rivera, y G. A. Gonzales. «Efectos bioquímicos poscosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas.» *Revista Fitotecnia Mexicana*, 2007: 30(4): 361-372.
- Ruiz, G. A., A. G. Qüesta, y S. C. Rodríguez. «Efecto de luz UV-C sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado.» *revista Iberoamericana de tecnología Postcosecha*, 2010: 11(1): 101-108.
- Sliney, D. H. «Radiación Ultravioleta.» En *Radiaciones no ionizantes*, de B Knave, 36. Rochester, EE.UU: Chantal Dufresne, 2001.
- Tardón, A., J. Obando, A. Hinojosa, L. Luchsinger, y V. H. Escalona. «Efecto de la aplicación de radiación UV-C sobre la calidad de brotes de alfalfa mínimamente procesados en fresco.» *Revista Iberoamericana de Postcosecha*, 2011: 12(1): 87-93.
- Wright, H. B., y W. L. Cairns. «Luz ultravioleta.» *Simposio sobre la calidad del agua: desinfección*

efectiva. Lima: CEPIS, 2004. 1-28.

- Yaun, B. R., S. S. Sumner, J. D. Eifert, y J. E. Marcy. «Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy.» *International Journal Food Microbiology*, 2004: 90: 1-8.
- Zhaung, R. Y., L. R. Beuchat, y F. J. Angulo. «Fate of Salmonella Montevideo on and in raw tomatoes as affected by temperature and treatment with chlorine.» *Applied and Environmental Microbiology*, 1995: 61 (6): 2127–2131.