

EFFECTO COMBINADO DE UV-C Y ENVASADO CON ATMÓSFERA MODIFICADA PASIVA EN LA CONSERVACIÓN DE RÚCULA (*ERUCA SATIVA*) CORTADA IV GAMA

Gutiérrez D. R.^{1,2}, Lemos L.^{1,2}, Rodríguez S.^{1,2}

⁽¹⁾CITSE-CONICET-UNSE. RN 9 km 1125, El Zanjón, CP 4200. Santiago del Estero-Argentina. ⁽²⁾ICyTA. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero-Argentina. E mail: silviadepece@hotmail.com

Fecha de recibido: 16-October-2017

Fecha de aceptado: 20-Diciembre-2017

Palabras clave: rúcula, conservación, UV-C, atmósfera modificada, calidad

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto combinado de radiación UV-C y envasado con atmósfera modificada pasiva en la conservación de rúcula cortada IV gama. Hojas de rúcula, recién cosechadas fueron seleccionadas, cortadas, lavadas con agua potable y escurridas. Posteriormente, fueron sometidas a radiación UV-C, aplicando las siguientes dosis: 7.5, 15 y 30 kJ/m². Todas las muestras se envasaron en bolsas de polipropileno de 35 mm, y se almacenaron durante 12 días a 5 °C. Muestras no irradiadas fueron usadas como control. Periódicamente se realizaron evaluaciones sensoriales (aparición general, color y olor) con panel entrenado y análisis microbiológicos (recuento de aerobios mesófilos y psicrófilos totales, enterobacterias y mohos y levaduras). También se estudió la variación del color (L*, a* y b*), contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante, clorofila y carotenoides totales. Las muestras control y las tratadas con 7.5 y 15 kJ/m² retuvieron la calidad sensorial por al menos 12 días, mientras que las hojas tratadas con 30 kJ/m² presentaron una vida útil sensorial menor a 8 días, debido a la aparición de olores no característicos. Por otra parte, todos los tratamientos UV-C fueron efectivos en retardar el crecimiento de la microflora natural y mantuvieron la calidad microbiológica por al menos 8 días. Por lo tanto, estos tratamientos prolongaron la vida útil del producto por al menos 3 días, respecto del control. Así mismo las muestras con UV-C presentaron una tasa significativamente menor de degradación de clorofila, retardando el amarillamiento. Además, se observó que el perfil de compuestos con propiedades bioactivas no fue afectado a lo largo de la conservación. La aplicación de dosis de 7,5 y 15 kJ/m² podría ser una alternativa como agente sanitizante para implementarlo en el proceso de elaboración de rúcula cortada IV gama, conservando la calidad global poscosecha.

COMBINED EFFECT OF UV-C AND MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING IN THE CONSERVATION OF FRESH-CUT ROCKET (*Eruca sativa*) IV GAMMA

Keywords: rocket, conservation, UV-C, modified atmosphere, quality

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the combined effect of UV-C radiation and packaging with passive modified atmosphere in the conservation of cut rocket IV gamma. Leaves of freshly harvested rocket were selected, cut, washed with potable water and drained. Subsequently, they were subjected to the following doses of UV-C radiation: 7.5, 15 and 30 kJ/m². All samples were packed (60 g) in 35 µm polypropylene bags and stored for 12 days at 5 °C. Non-irradiated samples were used as controls. Sensory evaluations (general appearance, color and odor) were performed periodically with a trained panel and microbiological analyzes (counts of mesophilic and total psychrophilic aerobes, enterobacteria and molds and yeasts). Color variation (L*, a* and b*), total phenol content, antioxidant capacity, chlorophyll and total carotenoids were also studied. Control samples and those treated with 7.5 and 15 kJ/m² retained sensory quality for at least 12 days, while leaves treated with 30 kJ/m² had a sensory shelf life of less than 8 days due to the appearance of odors not characteristic. On the other hand, all UV-C treatments were effective in slowing the growth of the natural microflora and maintained the microbiological quality for at least 8 days. Therefore, these treatments extended

the shelf life of the product for 4 days, relative to the control. Likewise, samples with UV-C showed a significantly lower chlorophyll degradation rate, delaying yellowing. In addition, it was observed that the profile of compounds with bioactive properties was not affected throughout the conservation. The application of doses of 7.5 and 15 kJ/m² could be an alternative as sanitizing agent to implement it in the process of elaboration of cut rocket IV gamma, conserving the global postharvest quality.

INTRODUCCION

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas surgen como respuesta de la demanda de los consumidores de comer sano, sabroso, y de alimentos de fácil preparación, que al mismo tiempo preserven su valor nutritivo, conserven su color natural y fresco, sabor y textura y que contengan menos aditivos tales como los conservantes (Jongen, 2002). La rúcula es ampliamente consumida como ensalada fresca o como parte de ensaladas mixtas en los países mediterráneos y también en Argentina (Ahmed et al., 2013). Como se sabe el procesamiento de frutas y vegetales frescos cortados promueve el deterioro de estos vegetales más rápido en comparación con sus homólogos intactos. Por esta razón, son necesarias técnicas no térmicas para aumentar la seguridad, manteniendo altos niveles de calidad y deben ser lo suficientemente leves como para no poner en peligro los atributos de frescos del producto (Manzocco et al., 2011). El envasado en atmósfera modificada (AMP) es una técnica utilizada para prolongar la vida útil de los vegetales recién cortados, utilizándose niveles de O₂ sean lo suficientemente altos como para prevenir condiciones anaeróbicas. Además, AMP disminuye el desarrollo microbiano y reduce la contaminación cruzada, y de esta manera mejora la inocuidad de los alimentos (Gutiérrez y col., 2015). Sin embargo, este efecto puede modificarse si las características de permeabilidad de la película cambian, induciendo resultados no beneficiosos (Martínez-Sánchez y col., 2006). Por otro lado, la radiación ultravioleta (UV-C) se ha utilizado para extender la vida útil de varias frutas y hortalizas frescas (Perkins-Veazie y col., 2008). El efecto antimicrobiano de la luz UV-C se debe a su capacidad para dañar el ADN

microbiano, provocando el entrecruzamiento entre tiamina y citosina vecinas en la misma cadena de ADN (Manzocco y col., 2011). Estudios han informado que la radiación UV-C inhibió el crecimiento microbiano, retardó el desarrollo y la senescencia de frutilla (Erkan y col., 2008), ananá (Pan y Zu 2012), broccoli (Martínez-Hernandez y col., 2011) y melón cortado (Manzocco y col., 2011). De esta forma, el tratamiento con UV-C para un potencial uso comercial como agente sanitizante, dependerá de su capacidad para inhibir o retardar el crecimiento microbiano, sin causar cambios indeseables de calidad en el producto final (Manzocco y col., 2011).

MATERIALES Y METODOS

Preparación de las muestras. Se trabajó con rúcula obtenida en la provincia de Santiago del Estero-Argentina. Las hojas fueron cosechadas y las que presentaban defectos como daños físicos, amarillamiento o deshidratadas fueron desechadas. Posteriormente, las hojas seleccionadas fueron lavadas con agua potable durante 1 min y drenadas sobre una malla de acero inoxidable. Las hojas se cortaron en tiras de 20 mm y luego se lavaron nuevamente con agua durante 2 min a 5 °C. El exceso de agua de las hojas cortadas se eliminó usando una centrifuga manual y posteriormente se aplicaron los siguientes tratamientos UV-C: 7,5; 15 y 30 kJ/m². Para ello, el producto fue distribuido en forma homogénea y en una sola capa debajo de lámparas germicidas de UV (TUV G30T8, 30 W, Philips) y fue irradiado hasta alcanzar las diferentes dosis estudiadas. Para generar la AMP se envasaron las hojas cortadas (100 g) en bolsas selladas de polipropileno (PP) de 35 µm de espesor. Como control, se almacenaron muestras sin tratar y envasadas con el mismo

film. Todas las bandejas se conservaron por 12 días a 5 °C. Periódicamente se tomaron muestras y se analizaron los siguientes parámetros:

Análisis Sensorial. Se realizó un análisis descriptivo cuantitativo, con panel entrenado de 12 jueces, evaluándose las muestras mediante el empleo de una escala estructurada de 9 puntos. Se evaluaron los siguientes descriptores: apariencia, podredumbres por enfermedades fisiológicas y/o por desarrollo microbiano (decay), color, intensidad de olor característico o propio y desarrollo de olores no característicos (off odors). La apariencia general y desarrollo de podredumbres se evaluó de 9 (excelente) a 1 (muy malo), estableciéndose como límite de aceptabilidad para su comercialización el valor de 5 (bueno). Para los descriptores color y olor se usaron escalas de 1 a 5, correspondiendo para el primero, 5 (verde) a 1 (amarillo), mientras que para el segundo, 5 (fresco o propio característico) a 1 (olores extraños intensos), siendo el límite establecido para la comercialización el valor de 3. Este criterio de considerar el fin de la vida útil cuando alguno de los atributos presentó un puntaje por debajo del 50% de la escala ha sido utilizado por varios autores (Rodríguez y Questa, 2013).

Medición de color. El color fue determinado midiendo los parámetros L^* , a^* y b^* con un colorímetro (Minolta CR 300) cubriendo un área de 5 mm². El Hue se calculó como $\tan^{-1}(b/a)$, cuando $a > 0$ y $b > 0$, o como $\tan^{-1}(b/a) + 360$, cuando $a < 0$ y $b > 0$. Asimismo, se calculó el grado de saturación del color o Cromo a partir de los valores de los parámetros a^* y b^* de acuerdo a la siguiente expresión: Cromo = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$.

Preparación de los extractos para fenoles totales y actividad antioxidante. Se tomaron 4 g de muestra y se homogenizó con 20 ml de metanol. Posteriormente el extracto fue

trasvasado a frascos color caramelo y se refrigeraron a 5 °C durante 24 hs. Transcurrido este tiempo, se centrifugaron a las muestras durante 15 min a 12.000 rpm y se tomó el sobrenadante para realizar las determinaciones de fenoles totales y actividad antioxidante.

Fenoles Totales. Se determinaron de acuerdo a la metodología de Folin-Ciocalteu (Singleton y col., 1999). Se tomaron 500 µl de extracto al que se le añadió 8 ml de agua destilada y 0,5 ml del reactivo de Follin-Ciocalteu, se agitó y se dejó reaccionar en la oscuridad durante 3 minutos. Luego se añadió 1 ml de carbonato de sodio y se deja reaccionar durante 10 min en oscuridad, transcurrido este tiempo, se procedió a medir la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Visible (JASCO V-630) a 725 nm. La curva de calibración se realizó empleando ácido clorogénico como patrón.

Capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante total se determinó basado en la evaluación de la capacidad de captación de radicales libres de acuerdo a la metodología de Brand-Williams y col. (1995). Se trabajó con 150 µl del extracto metanólico y se adiciona 2.850 µl de 2,2-difenil-1-picrylhydrazil radical (DPPH) de absorbancia ~1,1; la reacción se protegió de la luz durante 3,5 h, ya que se comprobó que durante este tiempo las mediciones de absorbancia no presentan variación. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 515 nm. La curva de calibración se realizó empleando Trolox como patrón.

Concentración de clorofila y carotenoides. Para la determinación de clorofila se trituró 0,4 g con 15 mL de acetona: agua (80:20, v/v), y se centrifugó a 12.000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se utilizó para determinar la concentración total de clorofila, la clorofila a y b, y los carotenoides totales según Lichtenthaler (1987). La absorbancia (A) a

663,2, 646,8 y 470 nm se midió utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (JASCO V-630). Las ecuaciones desarrolladas por Lichtenthaler (1987) se utilizaron para determinar los niveles individuales de:

- clorofila a ($Ca = A663.2 - 2.79 A646.8$),
- clorofila b ($Cb = 21.5 A646.8 - 5.1 A663.2$),
- clorofila total de cantidad ($Ca + Cb$),
- carotenoides totales [$Cx+c = (1000 A470 - 1.82 Ca - 85.02 Cb)/198$].

Análisis microbiológicos. Para determinar cada grupo microbiano (mesófilos, psicrófilos y enterobacterias, hongos y levaduras), se colocaron 10 g de muestra en una bolsa estéril, y se adicionó 90 ml de agua peptona tamponada estéril y se homogenizó por 2 min. Luego se diluyó 1 ml de esta disolución en 9 ml de agua estéril y así sucesivamente, según las diluciones que fueran necesarias. Para determinar el recuento de mesófilos aeróbicos, se diseminaron 100 μ l de la muestra diluida en agar de conteo en placa (APC) y se incubaron a 37 °C durante 2 días, y a 5 °C durante 7 días para conteos psicrófilos aeróbicos. Para el recuento de enterobacterias, se diseminaron 100 μ l de la muestra diluida sobre eosina de agar azul de metileno (EMB) y se incubaron a 37 °C durante 2 días; y para determinar el recuento de hongos y levaduras, se diseminaron 100 μ l de la muestra diluida sobre dextrosa de patata (PD) y se incubaron a 27 °C durante 7 días. Los recuentos microbiológicos se expresaron como el logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo de tejido fresco (log UFC/g).

Diseño experimental y tratamiento estadístico de los datos. Los ensayos de conservación fueron realizadas por lo menos tres veces, según un diseño factorial, siendo los factores tratamientos aplicados y tiempo de almacenamiento. Los resultados fueron analizados por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA), y las medias se compararon

por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 0,05. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis estadístico fue el Infostat Versión 2011 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

RESULTADOS Y DISCUSION

Cabe destacar que si bien en este trabajo no se presentan los resultados de la evolución de la atmósfera interna de los envases con las muestras de la rúcula cortada, si se midió la concentración de oxígeno y dióxido de carbono a lo largo del almacenamiento refrigerado. Así, se registró que en el equilibrio (a los tres días de almacenamiento) se alcanzó aproximadamente un 3 % de CO₂ y 16 % de O₂.

Análisis sensorial. Todas las muestras presentaron una disminución paulatina de los parámetros apariencia general y color a lo largo del almacenamiento, presentando valores superiores al establecido como límite para su comercialización, incluso a los 12 días del ensayo (Figura 1). No se observaron diferencias significativas en los puntajes de estos descriptores durante la conservación a 5 °C de las muestras tratadas y el control.

El descriptor olor fue el parámetro sensorial que limitó la vida útil del producto tratado con 30 kJ/m², debido a que a los 8 días se registró la aparición de olores no característicos. El control y el resto de las muestras tratadas no presentaron diferencias significativas entre ellos y hasta los 12 días los puntajes de este parámetro estuvieron por encima del límite establecido como aceptable para la comercialización. Estos resultados de UV-C coincide con los reportado por Artés-Hernández y col. (2010), quienes establecieron una vida útil máxima de 11 días a 5 °C en sandía cortada tratada con dosis bajas de UV-C de 1,6 y 2,8 kJ/m², mientras que las tratadas con dosis más altas de UV-C de 4,8 y 7,2 kJ/m², se consideraron aceptables para el consumo en fresco sólo hasta 8 días a 5 °C.

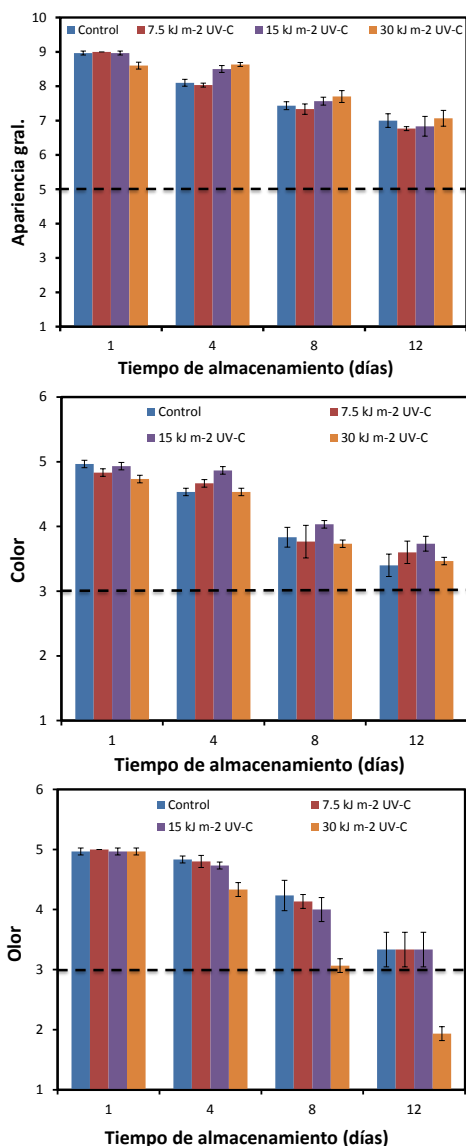


Figura 1. Cambios en apariencia gral, color y olor en hojas de rúcula cortadas no tratadas (Control) y tratadas con varias dosis de UV-C y almacenadas bajo AMP hasta 12 días a 5 °C.

Color. La Tabla 1 muestra el efecto combinado de la radiación UV-C con MAP sobre los parámetros superficiales de color en las hojas de rúcula cortadas durante el almacenamiento. Se puede observar que el valor de luminosidad (L^*) inicial fue entre 66,7 y 68,2, preservando estos valores iniciales para todos los tratamientos hasta el final del almacenamiento. La saturación del color superficial (Chroma) de las hojas de rúcula

cortadas no cambió significativamente durante el almacenamiento a 5 °C, así como el ángulo Hue. No se observaron diferencias significativas en los valores de L^* , Chroma y Hue entre los tratamientos durante el almacenamiento refrigerado, lo que indicó que la radiación UV-C no tuvo ningún efecto negativo sobre los cambios de color de las hojas de rúcula. Estos resultados concuerdan con Tomás-Callejas y col. (2012), quienes informaron una tendencia general del mantenimiento de L^* , Chroma y Hue, en hojas baby Tatsoi tratadas con 4,54 kJ/m² UV-C durante 11 días a 5 °C.

Tabla 1. Cambios en los parámetros de color L^* , Chroma y Hue para hojas de rúcula cortadas no tratadas (Control) y tratadas con varias dosis de UV-C y almacenadas bajo AMP hasta 12 días a 5 °C.

Parametros de color y dosis de UV-C	Tiempo de almacenamiento a 5 °C			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
L^*				
Control	68.2 ₁ ^A	67.6 ₁ ^A	68.8 ₁ ^A	70.0 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	66.9 ₁ ^B	66.9 ₁ ^B	68.3 ₁ ^{AB}	70.1 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	67.3 ₁ ^B	67.2 ₁ ^B	69.2 ₁ ^A	69.3 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	66.7 ₁ ^A	67.8 ₁ ^A	68.9 ₁ ^A	69.1 ₁ ^A
Chroma				
Control	23.5 ₁ ^A	22.5 ₁ ^A	21.5 ₁ ^A	22.7 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	22.3 ₁ ^{AB}	20.7 ₁ ^B	21.3 ₁ ^B	23.2 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	22.9 ₁ ^A	21.4 ₁ ^A	22.6 ₁ ^A	23.0 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	22.0 ₁ ^A	20.8 ₁ ^A	21.8 ₁ ^A	21.9 ₁ ^A
Hue				
Control	152.5 ₁ ^A	154.2 ₁ ^A	157.7 ₁ ^A	156.5 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	157.3 ₁ ^A	159.1 ₁ ^A	159.1 ₁ ^A	155.1 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	154.7 ₁ ^A	157.5 ₁ ^A	154.7 ₁ ^A	156.7 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	156.6 ₁ ^A	155.9 ₁ ^A	156.8 ₁ ^A	154.5 ₁ ^A

Diferentes letras entre cada fila denota una diferencia significativa ($p < 0,05$). Diferentes números dentro de cada columna denota una diferencia significativa ($p < 0,05$).

Contenido de fenoles totales. El contenido fenoles totales para todos los tratamientos fue similar y varió entre 2,0 y 2,2 mg EAC/g p.f. (Tabla 2). Los tratamientos con UV-C no tuvieron influencia significativa en las hojas cortadas sobre el contenido fenólico total a lo largo de la vida útil a 5 °C. Los niveles se

mantuvieron prácticamente constante sin diferencias significativas entre las muestras tratadas con UV-C y las muestras control. Estos resultados coinciden con lo reportado por Tomás-Callejas y col. (2011), quienes informaron que el contenido fenólico se mantuvo a lo largo de la vida útil después del procesamiento mínimo en hojas baby mizuna cortadas, un cultivar diferente de *Brassica rapa*.

Tabla 2. Cambios en el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante, clorofila total y carotenoides totales en las hojas de rúcula cortadas no tratadas (Control) y tratadas con varias dosis de UV-C y almacenadas bajo AMP hasta 12 días a 5 °C.

Parámetros y dosis de UV-C	Tiempo de almacenamiento a 5 °C			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
Fenoles totales (mg EAC/g p.f)				
Control	2.1 ₁ ^A	2.1 ₁ ^A	2.0 ₁ ^A	2.1 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	2.0 ₁ ^A	2.1 ₁ ^A	2.0 ₁ ^A	2.1 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	2.1 ₁ ^A	2.2 ₁ ^A	2.2 ₁ ^A	2.1 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	2.2 ₁ ^A	2.2 ₁ ^A	2.1 ₁ ^A	2.2 ₁ ^A
Capacidad antioxidante (mg ET/g p.f)				
Control	2.9 ₁ ^A	2.8 ₁ ^A	2.8 ₁ ^A	2.6 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	2.8 ₁ ^A	2.8 ₁ ^A	2.7 ₁ ^A	2.6 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	2.9 ₁ ^A	2.8 ₁ ^A	2.7 ₁ ^A	2.7 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	2.9 ₁ ^A	2.8 ₁ ^A	2.7 ₁ ^A	2.7 ₁ ^A
Clorofila total (mg/100 g p.f)				
Control	98.4 ₁ ^A	88.2 ₁ ^B	90.9 ₁ ^{AB}	71.2 ₂ ^C
7.5 kJ/m ² UV-C	96.5 _{1,2} ^A	90.6 ₁ ^A	89.3 ₁ ^A	76.8 _{1,2} ^B
15 kJ/m ² UV-C	90.8 _{1,2} ^A	88.4 ₁ ^A	88.5 ₁ ^A	80.6 ₁ ^B
30 kJ/m ² UV-C	87.3 ₂ ^A	83.7 ₁ ^A	84.3 ₁ ^{AB}	73.9 _{1,2} ^B
Carotenoides totales (mg/100 g p.f)				
Control	24.4 ₁ ^A	19.2 ₁ ^{BC}	21.0 ₁ ^{AB}	15.9 ₁ ^C
7.5 kJ/m ² UV-C	24.1 ₁ ^A	20.6 ₁ ^A	20.9 ₁ ^A	16.4 ₁ ^B
15 kJ/m ² UV-C	21.9 _{1,2} ^A	21.5 ₁ ^A	20.7 ₁ ^A	16.0 ₁ ^B
30 kJ/m ² UV-C	21.1 ₂ ^A	20.4 ₁ ^A	19.8 ₁ ^A	14.3 ₁ ^B

Diferentes letras entre cada fila denota una diferencia significativa ($p < 0,05$). Diferentes números dentro de cada columna denota una diferencia significativa ($p < 0,05$).

Capacidad antioxidante. Como se observó en la evolución del contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante total se mantuvo estable durante el almacenamiento y no fue significativamente afectada por los tratamientos con UV-C (Tabla 2). Esta correlación positiva entre el contenido de

fenoles y la capacidad antioxidante ha sido reportada antes en otros productos tal como brócoli (Martínez-Hernández y col., 2011). Resultados similares fueron descritos por Jemni y col. (2014), quienes encontraron que la radiación UV-C estabilizó la actividad antioxidante total de los frutos de palma (cv Deglet Nour) durante el almacenamiento a 20°C.

Contenido de clorofila y carotenoides. La cantidad inicial de clorofila total fue de 98,4 mg/100g p.f. en el control (Tabla 2). Después de la radiación, los tratamientos con UV-C redujeron el contenido inicial de clorofila total, con disminuciones del 12% para la dosis UV-C más alta de 30 kJ/m², mientras que las dosis de 7,5 y 15 kJ/m² retuvieron niveles similares al control. Todos los tratamientos mostraron una disminución del contenido inicial de clorofila a lo largo de la vida útil a 5 °C. El tratamiento combinado tuvo una tasa de degradación menor que el control. Sin embargo, al final del almacenamiento sólo las muestras tratadas con 15 kJ/m² UV-C presentaron menores reducciones de clorofila en comparación con el control ($p < 0,05$), manteniendo un mayor contenido de clorofila total. Estos resultados coinciden con lo informado por Tomás-Callejas y col. (2012), quienes encontraron una menor degradación de clorofila en hojas baby Tatsoi tratadas con 4,54 kJ/m² UV-C a través de la vida útil a 5 °C. Con respecto al contenido de carotenoides, se observó una disminución de alrededor del 3-14% en los tratamientos con UV-C con respecto al control (38,6 mg/100g p.f). Durante el almacenamiento se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) para todos los tratamientos. Al día 12, no se observaron diferencias significativas entre las muestras tratadas y el control (Tabla 2). Sin embargo, Martínez-Hernández y col. (2011) reportaron que el contenido total de carotenoides permaneció constante a lo largo de la vida útil a 5 °C en brócoli pre-tratado con UV-C.

Análisis microbiológicos. Inmediatamente después del tratamiento combinado, se redujeron los recuentos microbianos iniciales. Los recuentos de mesófilos, psicrófilos, enterobacterias y hongos y levaduras en muestras tratadas con UV-C con dosis de 7,5; 15 y 30 kJ/m² fueron significativamente más bajos que el control (Tabla 3). Además, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos combinados. Como se esperaba, durante el almacenamiento las poblaciones microbianas aumentaron para todas las muestras tratadas y no tratadas. El efecto antimicrobiano de todos los tratamientos se observó hasta los días 8 a 5 °C. Sin embargo, al final del almacenamiento, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos combinados en comparación con el tratamiento de control. La legislación española estableció 7 log UFC/g como límite máximo para el recuento total viable. Estos datos indican que la vida útil de las muestras tratadas con 7,5; 15 y 30 kJ/m² de UV-C sería superior a 8 días, mientras que la vida útil del control (determinada por conteo de psicrófilos) fue de aproximadamente 4 días. Martínez-Hernández y col. (2011) también informaron que después del tratamiento con UV-C, se redujeron los recuentos microbianos iniciales de brócoli y este efecto fue más notable para los recuentos de mesófilos y hongos y levaduras.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados sugieren que la aplicación de la radiación UV-C combinada con el envasado de atmósfera modificada (AMP) lograda con un film de permeabilidad media, podría ser un tratamiento satisfactorio para las hojas de rúcula recién cortadas. Todos los tratamientos de combinación retardaron el desarrollo microbiano hasta los días 8 a 5 °C, en comparación con el control. Los atributos sensoriales se conservaron hasta 12 días sólo para los combinados de 7,5 y 15 kJ/m² UV-C. El contenido de fenoles totales y capacidad

antioxidante no se vieron afectados por los tratamientos combinados y se mantuvieron durante el período de almacenamiento. Además, la aplicación combinada de UV-C con AMP retardó la degradación del contenido total de clorofila a lo largo de la vida útil.

Tabla 3. Cambios en mesófilos, psicrófilos, enterobacterias y hongos levadura (log UFC/g) en hojas de rúcula cortadas no tratadas (Control) y tratadas con varias dosis de UV-C y almacenadas bajo AMP hasta 12 días a 5 °C.

Parámetros y dosis de UV-C	Tiempo de almacenamiento a 5 °C			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
Mesófilos totales (log UFC/g)				
Control	5.34 ₁ ^D	5.71 ₁ ^B	6.14 ₁ ^A	6.57 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	4.56 ₃ ^D	4.78 ₃ ^C	5.39 ₃ ^B	6.24 ₁₂ ^A
15 kJ/m ² UV-C	4.48 ₃ ^D	4.72 ₃ ^C	5.45 ₃ ^B	6.32 ₂ ^A
30 kJ/m ² UV-C	4.61 ₃ ^D	4.81 ₃ ^C	5.41 ₃ ^B	6.21 ₂ ^A
Psicrófilos totales (log UFC/g)				
Control	6.04 ₁ ^D	6.72 ₁ ^C	7.46 ₁ ^B	8.11 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	4.79 ₃ ^D	5.81 ₃ ^C	6.74 ₃ ^B	8.14 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	4.71 ₃ ^D	5.73 ₃ ^C	6.81 ₃ ^B	8.06 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	4.64 ₃ ^D	5.69 ₃ ^C	6.78 ₃ ^B	8.18 ₁ ^A
Enterobacterias (log UFC/g)				
Control	4.76 ₁ ^D	5.23 ₁ ^C	5.54 ₁ ^B	5.73 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	4.03 ₃ ^D	4.47 ₃ ^C	4.91 ₃ ^B	5.62 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	3.96 ₃ ^D	4.39 ₃ ^C	4.86 ₃ ^B	5.58 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	4.05 ₃ ^D	4.45 ₃ ^C	4.92 ₃ ^B	5.59 ₁ ^A
Mohos y levaduras (log UFC/g)				
Control	4.12 ₁ ^D	4.86 ₁ ^C	5.31 ₁ ^B	5.51 ₁ ^A
7.5 kJ/m ² UV-C	3.54 ₃ ^D	4.06 ₃ ^C	4.79 ₃ ^B	5.36 ₁ ^A
15 kJ/m ² UV-C	3.43 ₃ ^D	3.94 ₃ ^C	4.72 ₃ ^B	5.38 ₁ ^A
30 kJ/m ² UV-C	3.46 ₃ ^D	4.02 ₃ ^C	4.78 ₃ ^B	5.41 ₁ ^A

Diferente letra entre cada fila denota una diferencia significativa ($p < 0,05$). Diferentes números dentro de cada columna denota una diferencia significativa ($p < 0,05$).

REFERENCIAS

- Ahmed, F., Al-Salman, F., Almusallam, A.S. 2013. Effect of blanching on thermal color degradation kinetics and rheological behavior of rocket (*Eruca sativa*) puree. *J Food Engineering*. 119: 660–667.
- Artés-Hernández F., Robles P.A., Gómez P.A., Tomás-Callejas A., Artés F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of

- fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol. Technol.* 55: 114–120.
- Brand Williams W., Cuvelier M.E. and Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food sci Technol.* 28:25-30.
- Erkan M., Wang S.Y. and Wang C.Y. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 163–171.
- Gutiérrez D.R., Char C., Escalona V.H., Chaves A.R. and Rodríguez S.D.C. 2015. Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.). *J Food Proc Preservat.* 39: 3117-3127.
- Jemni M., Gómez P.A., Souza M., Chaira N., Ferchichi A., Otón M., Artés F. 2014. Combined effect of UV-C, ozone and electrolyzed water for keeping overall quality of date palm. *LWT - Food Sci. Technol.* 59: 649-655.
- Jongen, W. 2002. Introduction. En: *Fruit and vegetable processing*. Ed.: Jongen, W. Edit.: Woodhead Publishing Limited, CRC Press LLC. Cambridge, UK, Boca Raton.
- Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymology.* 148: 350-382.
- Manzocco L, Pieve SD, Maifreni M. 2011. Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innov Food Sci Emerg Technol* 12: 13-17.
- Martínez-Hernández G.B., Gómez P.A., Pradas I., Artés F., Artés-Hernández F. 2011. Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi® broccoli. *Post. Biol. Technol.* 62: 327-337.
- Martínez-Sánchez, A., Marín, A., Llorach, R., Ferreres, F., Gil, M.I. 2006. Controlled atmosphere preserves quality and phytonutrients in wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*). *Postharvest Biol. Technol.* 40: 26-33.
- Pan, Y.G., y Zu, H. 2012. Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering*, 37: 113-119.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J.K., Howard, L., 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biol. Technol.* 47: 280-285.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., y Barry-Ryan, C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: A review. *Trends Food Sci Technol.* 18: 373–386.
- Rodríguez, S. del C. y Questa, A. G. 2013. Alternativas de procesamiento mínimo para vegetales producidos en la provincia de Santiago del Estero. En el libro: *Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial. Desde la FAYa al NOA*. Editores: Albanesi, Paz, Sobrero, Helman y Rodriguez.
- Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology.* 299:152–153.
- Tomás-Callejas A., Martínez-Hernández G.B., Artés F., Artés-Hernández F. 2011. Neutral and acidic electrolyzed water as emergent sanitizers for fresh-cut mizuna baby leaves. *Postharvest Biol. Technol.* 55: 114–120.
- Tomás-Callejas A., Otón M., Francisco Artés F., Artés-Hernández F. 2012. Combined effect of UV-C pretreatment and high oxygen packaging for keeping the quality of fresh-cut Tatsoi baby leaves. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 14: 115–121.