

## Empleo de radiación UV-C como método de desinfección para la elaboración de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) mínimamente procesada

Baeza Andrea<sup>1</sup>, Silveira Ana Cecilia<sup>2</sup>, Escalona Víctor<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Centro de Estudios Postcosecha

<sup>2</sup>Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Avenida Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay

<sup>3</sup>Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile. Correo electrónico: vescalona@uchile.cl

Recibido: 29/5/15 Aceptado: 13/10/15

### Resumen

En este trabajo se evaluó el efecto de la desinfección con diferentes dosis de radiación UV-C (0,34; 5,16; 10,15; 15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup>) como alternativa a la desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO, testigo), sobre la calidad microbiológica y sensorial de rúcula mínimamente procesada (MP) y conservada durante 10 días a 5 °C. La rúcula tratada con dosis de radiación UV-C de 0,34 a 10,15 kJ m<sup>-2</sup> presentó tasas respiratorias similares al testigo, mientras que las tratadas con dosis de 15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup> presentaron un aumento significativo en respiración. En el transcurso de la conservación, la concentración de O<sub>2</sub> disminuyó en el interior de los envases, mientras que la de CO<sub>2</sub> aumentó alcanzando valores en el equilibrio de 13 a 19 % O<sub>2</sub> y de 2 a 4 % CO<sub>2</sub> después de cuatro días. Los tratamientos de desinfección permitieron bajar la carga de aerobios mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, hongos y levaduras de la materia prima en 1 a 1,3 log ufc g<sup>-1</sup>. Si bien la tendencia se mantuvo hasta los 10 días de conservación, la elevada carga inicial determinó que los recuentos de aerobios mesófilos y psicrófilos fueran superiores a los aceptados por la legislación chilena. Los tratamientos de desinfección no afectaron los parámetros sensoriales de apariencia y color que presentaron valores aceptables para el consumo durante 10 días. La radiación UV-C, en especial a dosis de 15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup>, constituye una buena alternativa a la desinfección con NaClO para la elaboración de rúcula MP. Sin embargo se debería seguir trabajando en el ajuste de la dosis para que la información pueda ser transferida al sector productivo.

**Palabras clave:** radiación UV-C, atmósfera modificada, crecimiento microbiano, desinfección

### Summary

## Use of UV-C Radiation as a Disinfection Method for the Elaboration of Minimally Processed Arugula (*Eruca sativa* Mill.)

In this work the effect of disinfection with different doses of UV-C (0.34; 5.16; 10.15; 15.14 and 20.13 kJ m<sup>-2</sup>) was evaluated as an alternative to sodium hypochlorite (NaClO, control) disinfection on microbiological and sensorial quality of minimally processed arugula (MP) maintained for 10 days at 5 °C. Arugula treated with doses of 0.34 to 10.15 kJ m<sup>-2</sup> had respiratory rates similar to the control, while doses of 15.14 and 20.13 kJ m<sup>-2</sup> significantly increased the respiration rate. During conservation, the O<sub>2</sub> concentration inside the containers decreased, while the CO<sub>2</sub> concentration increased to 13-19 % O<sub>2</sub> and 2 to 4 % CO<sub>2</sub> after four days. Disinfection treatments allowed lowering the number of mesophilic aerobic, psychrophilic, enterobacteria, mold and yeast loads in raw material in 1-1.3 log cfu g<sup>-1</sup>. Although the trend continued until 10 days of storage, the high initial load of the raw material determined that aerobic mesophilic and psychrophilic counts were higher than those allowed by the Chilean legislation. Disinfection treatments did not affect the sensory parameters of appearance and color that acceptable for consumption after 10 days. The UV-C radiation, particularly at doses of 15.14 and 20.13 kJ m<sup>-2</sup>, is a good alternative to disinfection with NaClO in MP arugula elaboration process. However, research on adjusting the dose should continue in order to transfer the information to the productive sector.

**Keywords:** UV-C radiation, modified atmosphere, microbial growth, disinfection

## Introducción

La rúcula es una especie perteneciente a la familia *Brassicaceae* de la que se consumen las hojas jóvenes, muy apreciadas por su particular aroma y sabor picante, de gran interés nutricional ya que contienen numerosos compuestos beneficiosos como la vitamina A y C, ácido fólico, calcio, carotenoides, flavonoides y glucosinolatos (Martínez-Sánchez *et al.*, 2006a, 2006b; Manchali *et al.*, 2012).

Actualmente existe una tendencia al aumento en el consumo de frutas y hortalizas debido a sus beneficios para la salud (Zacarias *et al.*, 2009). Sumado a esto, el acelerado ritmo de vida actual, con escaso tiempo para preparar alimentos saludables, ha generado un aumento en la demanda de productos vegetales frescos y ya listos para ser consumidos, conocidos como mínimamente procesados (MP) o de IV gama (Artés-Hernández *et al.*, 2009). Los productos MP son obtenidos mediante la aplicación de una o varias operaciones unitarias de preparación, tales como pelado, cortado, reducción de tamaño y lavado, siendo además sometidos a una combinación de tratamientos parciales de conservación, como desinfección por métodos químicos o físicos, envasado en atmósferas modificadas y uso de temperaturas de refrigeración, entre otros (Wiley, 1997).

Durante el proceso de elaboración de los productos MP, la etapa de desinfección constituye un punto crítico y resulta decisiva para la preservación de la calidad, seguridad y mantenimiento de la vida útil del producto. Esta etapa tiene como objetivo principal disminuir la carga microbiana y se realiza principalmente utilizando hipoclorito de sodio (NaClO), cuyo efecto germicida se basa en su capacidad para penetrar la pared celular de los microorganismos, alterando las funciones específicas de sus proteínas e inhibiendo sus procesos metabólicos (Barth *et al.*, 2009). Sin embargo, la reacción del NaClO con la materia orgánica puede formar trihalometanos y compuestos organoclorados, elementos altamente volátiles, que han sido clasificados y considerados como potenciales agentes cancerígenos (Garmendia y Vero, 2006).

Como alternativa al uso de NaClO se ha estudiado el empleo de radiación ultravioleta del tipo C (UV-C), que es la comprendida en el rango 200 a 280 nm del espectro electromagnético, un tratamiento físico que no deja residuos, de fácil manejo, y efectivo para el control de la mayoría de los microorganismos (Escalona *et al.*, 2010a). Se aplica mediante lámparas de alta presión de mercurio, que emiten radiación en una longitud de onda de 254 nm, coincidente con la efectividad germicida máxima (Artés-Hernández *et al.*, 2009). El modo de acción antimicrobiano de la radiación

UV-C reside en el daño que esta provoca en el ADN de los microorganismos impidiendo su reproducción (Ben-Yehoshua y Mercier, 2005).

La efectividad del tratamiento depende de la intensidad y tiempo de exposición, así como de la respuesta y sensibilidad del tejido vegetal tratado. Se ha observado que dosis de 0,5 a 20 kJ m<sup>-2</sup> logran inhibir el crecimiento de microorganismos, sin generar daño a las células vegetales. En lechuga de tipo «Lollo rosso» se aplicaron dosis de UV-C de 4,06 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup> provocando un retraso en la senescencia y deterioro de la lechuga debido a la reducción de las poblaciones microbianas (Allende y Artés, 2003a). A su vez, en espinacas, la aplicación de UV-C en dosis que fluctuaron entre los 4,5 y 11,3 kJ m<sup>-2</sup> produjo una reducción inicial de la carga microbiana (psicrófilos y mesófilos) mayor que en los tratamientos con NaClO (Artés-Hernández *et al.*, 2008).

Además del control de los microorganismos, la radiación UV-C retrasa la senescencia postcosecha en productos como frutilla, tomate, zanahoria, lechuga y espinaca, entre otros, afectando a las enzimas implicadas en los procesos de ablandamiento, cambio de color, etc. (Baka *et al.*, 1999; Bintsis *et al.*, 2000; Allende *et al.*, 2006; Hinojosa *et al.*, 2013).

Adicionalmente a la desinfección, la prolongación de la vida útil de los productos MP se consigue con el uso de otras técnicas como el envasado en atmósfera modificada (EAM). Esta técnica consiste en generar y estabilizar la atmósfera al interior de un envase, lo que se logra mediante el uso de una película plástica de permeabilidad selectiva a los gases. La atmósfera se puede generar inyectando en el envase la mezcla gaseosa deseada, sustituyendo así el aire del envase antes del cierre. Este método es conocido como envasado en atmósfera modificada activa (Artés, 2006). El uso de atmósferas modificadas retrasa la senescencia y disminuye las pérdidas de color en hortalizas de hoja. Las mezclas gaseosas de interés dependerán de la especie a conservar. Para hortalizas con elevadas tasas de respiración es aconsejable el uso de atmósferas empobrecidas en O<sub>2</sub> con concentraciones que varían entre 3-5 % de O<sub>2</sub> y entre 0-5 % de CO<sub>2</sub> al interior del envase (Kader, 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de radiación UV-C en combinación con el envasado en atmósfera modificada activa sobre rúcula MP mantenida en refrigeración a 5 °C, de manera de identificar la dosis que permita un eficiente control del crecimiento microbiano sin afectar la calidad organoléptica del producto.

## Materiales y métodos

### Material vegetal, procesado y aplicación de los tratamientos de desinfección

Este trabajo se realizó en el Centro de Estudios de Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile en Santiago, Chile. Se utilizaron hojas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) provistas por la empresa agrícola «Más Vida», ubicada en la comuna de Calera de Tango, Provincia del Maipo, Región Metropolitana. El cultivo de la rúcula se realizó de forma tradicional (en suelo y al aire libre), en el período estival, y fue cosechada manualmente cuando sus hojas alcanzaron una longitud comercial de 10 cm. De siembra a cosecha transcurrieron aproximadamente 30 días.

Una vez cosechadas, las hojas fueron transportadas desde Calera de Tango hacia las instalaciones del CEPOC. El material vegetal fue almacenado en bandejas plásticas recubiertas con polietileno perforado y mantenidas en una cámara de frío a 5 °C por 24 horas. Posteriormente fueron seleccionadas en la sala de proceso previamente sanitizada y enfriada a 8 °C, eliminándose aquellas con defectos visuales como alteraciones de color (necrosis, clorosis), deshidratación y daño físico.

Luego de esto, se realizó la aplicación de los diferentes tratamientos de desinfección. Los tratamientos de radiación UV-C se aplicaron mediante una cámara cerrada provista con seis tubos germicidas de 36 W (TUV 36W/G36 T8, Philips, China), tres de ellos ubicados en la parte superior con una distancia de separación de 0,12 m entre sí y tres en la parte inferior (misma distribución) y con una rejilla de acero inoxidable en la parte central equidistante de las fuentes emisoras de radiación (0,25 m), en donde se dispusieron las hojas de rúcula, distribuidas uniformemente y sin traslapar, de forma que la radiación UV-C aplicada fuera homogénea. Las dosis de UV-C aplicadas fueron de 0,34; 5,16; 10,15; 15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup>, determinadas por el tiempo de exposición a la UV-C. Para la determinación de la intensidad de radiación se utilizó un radiómetro VLX 254 (Vilber 115 Lourmat, Torcy, Francia) realizándose las mediciones en nueve puntos de la cámara y usando el valor promedio para el cálculo de la dosis.

Como testigo se desinfectaron hojas en una solución con NaClO (100 mg L<sup>-1</sup>, pH 6,5 ajustado con ácido cítrico 0,2 N) a 5 °C en un contenedor de acero inoxidable. Las hojas se mantuvieron inmersas por 3 min realizando una leve agitación con una paleta de acero inoxidable y luego se enjuagaron durante 1 min en agua a 5 °C. Finalmente se

dejaron escurrir en una malla de acero inoxidable y el exceso de agua restante fue eliminado mediante una centrifuga manual.

Una vez aplicado cada tratamiento, se procedió al envasado en bolsas de polietileno con dimensiones de 0,15 x 0,25 m y permeabilidad de 7.000 mL O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> y de 21.000 mL CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (San Jorge Packaging S.A., Chile), las que se completaron con 50 g de hojas de rúcula, con un total de tres bolsas por tratamiento. Posteriormente las bolsas se colocaron en una envasadora (Plaspak, Mod. KVP420T, China), la cual inyectó N<sub>2</sub>, para así realizar un barrido y generar una atmósfera inicial de 3 a 5 % de O<sub>2</sub>. Después de la inyección, la máquina envasadora selló las bolsas, que finalmente se etiquetaron y almacenaron en una cámara a 5 °C por 10 días. Este procedimiento se repitió para los seis tratamientos.

### Determinaciones

Para la medición de la tasa respiratoria se colocaron 200 g de hojas de rúcula por cada recipiente plástico con una capacidad de 4 L. En estos recipientes se inyectó N<sub>2</sub>, para realizar un barrido y obtener una concentración de O<sub>2</sub> de 3 a 5 %, que se verificó con un medidor portátil (PBI Dansensor Check Point, Dinamarca). Posteriormente los recipientes fueron cerrados herméticamente y almacenados en una cámara de frío a 5 °C por 10 días. La tapa de los recipientes estuvo provista de un septo de silicona, a través del cual se extrajeron las muestras gaseosas de la atmósfera con una jeringa de 10 mL. Las muestras extraídas fueron analizadas en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5890 serie II, California, EE.UU.) provisto de un detector de conductividad térmica y de una columna empacada (PoraPack Q 810-1000, Milford MA, EE.UU.), con temperatura de horno y de inyector de 50 °C y de detector de 200 °C. Las evaluaciones de respiración se realizaron por triplicado, los días 1, 4, 7 y 10 y los valores se expresaron como producción de CO<sub>2</sub> en mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, la cual se calculó mediante la diferencia entre dos evaluaciones consecutivas.

Las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> al interior de las bolsas fueron determinadas luego de 1, 4, 7 y 10 días de conservación a 5 °C mediante un analizador portátil (PBI Dansensor Check Point, Dinamarca). Las mediciones se realizaron por triplicado y los valores fueron expresados como porcentaje.

La determinación de color se realizó en 10 hojas de rúcula por bolsa y se evaluó en tres puntos (extremos y centro) del haz de la hoja, empleando un colorímetro

compacto triestímulo (Konica Minolta modelo CR 300, Japón) con fuente iluminante D65, ángulo observador de 0° y calibrado con un estándar blanco. Se utilizó el sistema CIE-LAB evaluándose la claridad (L), Cromat =  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ; y ángulo Hue o tono =  $\arctg(b^*/a^*)$ . Las evaluaciones de color se realizaron los días 1, 4, 7 y 10.

Se realizaron recuentos en placas de bacterias aerobias mesófilas, psicrófilos, enterobacterias, hongos y levaduras. Para ello se utilizaron 10 g de hojas que se homogeneizaron en 90 mL de agua peptonada (Easy Mix, AES Chemunex, Francia), mediante un masticador (Colwort Stomacher 400 Lab, Seward, Medical, Londres, Reino Unido) durante 1 min. En los casos en que fue necesario se realizaron diluciones seriadas. En condiciones asépticas, para cada una de las diluciones, se extrajo una alícuota de 1 mL para el recuento de bacterias mesófilas, psicrotrofos, y enterobacterias y 0,2 mL para los recuentos de hongos y levaduras. En mesófilos y psicrotrofos se utilizó como medio nutritivo agar para conteo de placas (PCA, Merck, Darmstadt, Alemania) y para enterobacterias se empleó agar eosina azul de metileno (EMB, Merck, Darmstadt, Alemania). Por último, para el recuento de hongos y levaduras, se utilizó papa dextrosa agar (PDA, Merck, Darmstadt, Alemania), con 2 mL de ácido láctico L<sup>-1</sup>.

Las condiciones de incubación fueron 37 °C durante 48 h para bacterias mesófilas; 5 °C durante cinco días para bacterias psicrotrofas; 37 °C durante 48 h para enterobacterias; y 22 °C durante 72 y 120 h para levaduras y hongos, respectivamente. Los recuentos totales se expresaron en unidades logarítmicas formadoras de colonias por g (log ufc g<sup>-1</sup>). El análisis microbiológico se realizó los días 1 y 10.

El análisis sensorial se realizó a través del método descriptivo cuantitativo (QDA), evaluando los parámetros de apariencia y color. Este método fue aplicado a un panel de 12 jueces, usando una pauta no estructurada de 0 a 15 cm (Araya, 2006). Las muestras evaluadas estuvieron compuestas por una muestra representativa de las tres bolsas de cada tratamiento. Se determinó como media aceptable el valor de 7,5, el cual correspondió a la mitad de la pauta de evaluación. Las evaluaciones de calidad sensorial se realizaron los días 1, 4, 7 y 10.

Los resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANDEVA), con un 95 % de significancia. Cuando se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos se realizó una prueba de rango múltiple de Tukey al 5 %. Los datos fueron analizados mediante el software estadístico Infostat versión 2012 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

Para los datos en que no se cumplieron los supuestos de normalidad se utilizaron las siguientes fórmulas de transformación: transformación de logaritmo:  $Y = \log(X+1)$  para recuentos microbianos y transformación de Bliss:  $Y = \text{Arcsen}(X/100)$ , donde X correspondió al porcentaje (0 a 100).

## Resultados y discusión

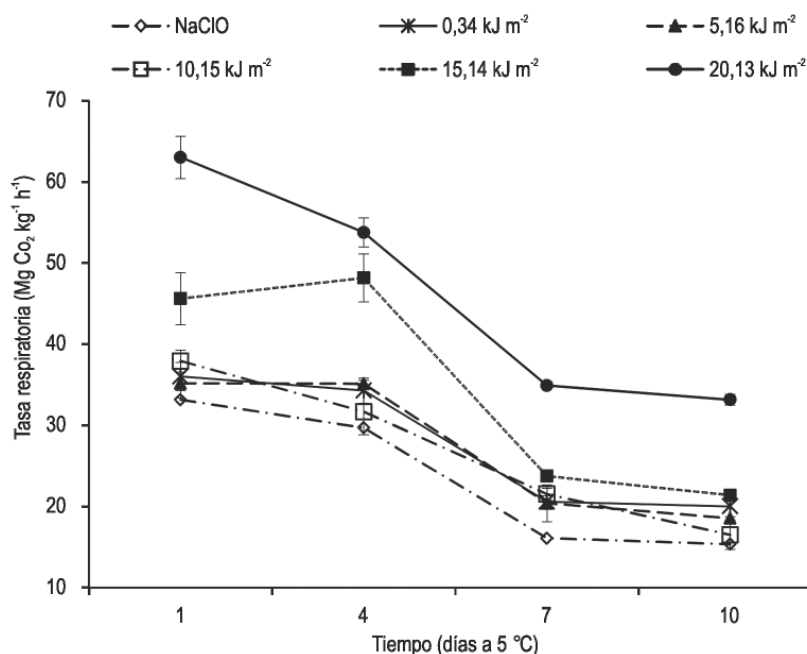
### Tasa respiratoria

El primer día de conservación, las hojas de rúcula tratadas con las dosis más altas de radiación UV-C (15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup>) presentaron las tasas de respiración mayores, en relación a las observadas en los tratamientos de 0,34 a 10,15 kJ m<sup>-2</sup> y al testigo, que no presentaron diferencias entre sí. La producción de CO<sub>2</sub> fue un 20 a 30 % superior en las hojas tratadas con 15,14 kJ m<sup>-2</sup> y de entre 60 a 90 % más altas en las tratadas con 20,13 kJ m<sup>-2</sup> (Figura 1).

Durante el transcurso del almacenamiento, la tendencia observada el día 1 se mantuvo hasta los siete días de conservación. Al cabo de 10 días a 5 °C, la tasa más elevada correspondió a la dosis de 20,13 kJ m<sup>-2</sup> siendo más del doble del valor registrado en el testigo, que presentó el menor valor, y superando entre 55 y 85 % las restantes dosis de radiación UV-C que no se diferenciaron entre sí.

En relación a la evolución de la tasa respiratoria en el tiempo, se observó que durante el transcurso de la conservación los valores registrados en todos los tratamientos disminuyeron, y en los días 7 y 10 presentaron valores hasta 50 % inferiores al día 1.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las hojas tratadas con dosis de UV-C de 0,34 a 10,15 kJ m<sup>-2</sup> presentaron tasas respiratorias similares al testigo. Sin embargo, las dosis 15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup> generaron un aumento considerable en la tasa respiratoria en comparación al testigo, por lo que sería posible afirmar que la radiación UV-C aumentó su metabolismo. Resultados similares fueron obtenidos por otros investigadores. Según Allende y Artés (2003a) la aplicación de UV-C en dosis entre 2,5 a 8,5 kJ m<sup>-2</sup> a hojas de lechuga del tipo «Lollo Rosso» generó tasas de 68 a 77 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, mientras que hojas de lechuga sin tratamiento de radiación UV-C presentaron tasas de 38 a 42 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, lo que podría estar vinculado al estrés generado por este tratamiento. Más recientemente, Inestroza-Lizardo y Escalona (2015), quienes compararon diferentes desinfectantes químicos y radiación UV-C (5 y 5 kJ m<sup>-2</sup>) como alternativas al NaOCl en rúcula MP, encontraron valores de



**Figura 1.** Tasa respiratoria de rúcula conservada a 5 °C durante 10 días ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Los valores son medias ( $n = 3$ ). Las barras verticales indican el error estándar de la media.

respiración superiores a los registrados en este trabajo y un aumento de la respiración en las hojas tratadas con UV-C. Esto puede deberse al efecto de los factores de pre-cosecha sobre la calidad de la materia prima, ya que se trata de cultivos de años distintos y de situaciones productivas diferentes, ciclo invernal y cultivo en invernadero frente a ciclo estival realizado a campo.

La concentración de  $\text{O}_2$  al interior de los recipientes utilizados para medir la tasa respiratoria fue disminuyendo durante la conservación. En el día 1 variaron entre 5,2 y 8,6 % de  $\text{O}_2$  y después de 10 días fueron inferiores al 1 %. Por el contrario las concentraciones de  $\text{CO}_2$  aumentaron, presentando inicialmente valores de entre 1,4 y 2,5 % y entre 9,1 y 13,9 % al cabo de 10 días de conservación a 5 °C. Por lo tanto, la disminución de la tasa respiratoria observada en todos los tratamientos pudo deberse al efecto sinérgico de la temperatura de almacenaje (5 °C) y la baja concentración de  $\text{O}_2$  y moderada de  $\text{CO}_2$ . En este sentido, concentraciones de 1 a 5 % de  $\text{O}_2$  y de 5 a 10 % de  $\text{CO}_2$  tendrían un efecto positivo en la conservación de hortalizas al reducir la respiración y transpiración de las mismas (Rojas-Graü *et al.*, 2008). Similares resultados fueron descritos por Escalona *et al.* (2010b) en hojas picadas de lechuga mantecosa almacenadas a 7 °C en atmósfera con 5 %  $\text{O}_2$  y 15 %  $\text{CO}_2$ , que disminuyeron su tasa respiratoria en compara-

ción a aquellas envasadas en atmósfera con 21 % de  $\text{O}_2$  y 0 % de  $\text{CO}_2$ .

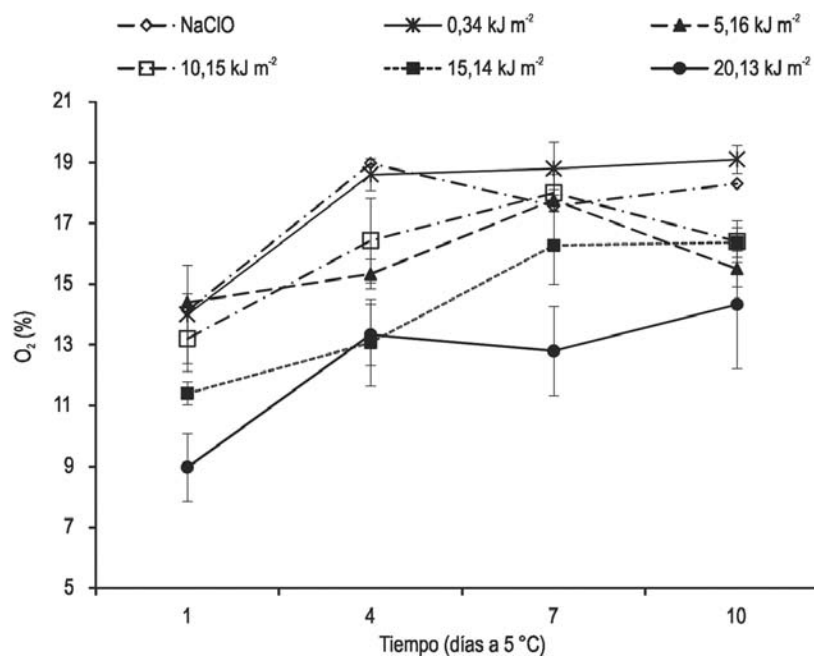
### Composición de la atmósfera

La evolución de la composición gaseosa al interior de las bolsas se muestra en las Figuras 2 y 3. En el día 1 de conservación las que contenían las hojas tratadas con dosis de 15,14 y 20,13  $\text{kJ m}^{-2}$  presentaron las menores concentraciones de  $\text{O}_2$  (9 a 11,4 %), resultados que fueron concordantes con las altas tasas respiratorias de estos tratamientos (Figura 2).

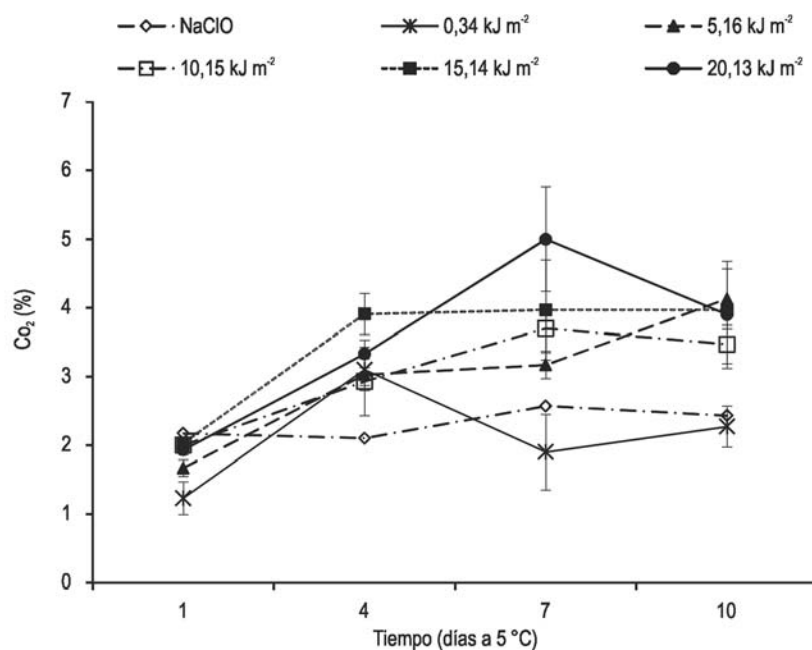
Al cabo de cuatro días de conservación a 5 °C la concentración de  $\text{O}_2$  se estabilizó en valores de 13 a 19 %. Las concentraciones más bajas correspondieron a las hojas tratadas con dosis de 15,14 y 20,13  $\text{kJ m}^{-2}$ .

Tras siete días la dosis de 20,13  $\text{kJ m}^{-2}$  presentó la menor concentración con 13 %  $\text{O}_2$ , mientras que los tratamientos restantes de UV-C y el testigo no presentaron diferencias significativas entre sí, con concentraciones de 16 a 19 %. Al final del periodo de conservación, los valores fueron de 14 a 19 % de  $\text{O}_2$ .

Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  registraron un aumento gradual durante los 10 días de almacenaje, estabilizándose al cuarto día con concentraciones de 2 a 4 % (Figura 3).



**Figura 2.** Evolución de la concentración de  $O_2$  (%) en envases de rúcula conservada a 5 °C por 10 días. Los valores son medias ( $n = 3$ ). Las barras verticales indican el error estándar de la media.



**Figura 3.** Evolución de la concentración de  $CO_2$  (%) en envases de rúcula conservada a 5 °C por 10 días. Los valores son medias ( $n = 3$ ). Las barras verticales indican el error estándar de la media.

La evolución de las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  al interior de las bolsas demostró que las hojas consumieron  $O_2$  y generaron  $CO_2$ , concordantemente con el comportamiento observado en la tasa respiratoria donde los tratamientos que obtuvieron las mayores tasas respiratorias (15,14 y 20,13  $kJ m^{-2}$ ) fueron también los que presentaron las mayores concentraciones de  $CO_2$  y menores de  $O_2$ .

Si bien previo al sellado de las bolsas se hizo un barrido con  $N_2$  para bajar las concentraciones de  $O_2$ , transcurrido un día de conservación se observó un aumento de las concentraciones de este gas debido al ingreso del  $O_2$  a través de la película plástica con que se confeccionaron las bolsas. En esta situación no se alcanzaron las bajas concentraciones de  $O_2$  y moderadas de  $CO_2$  que serían más aconsejables para la conservación de esta hortaliza (Kader, 2002; Martínez-Sánchez *et al.*, 2006a). Aun así esta película plástica podría ser recomendada para rúcula cuando no exista seguridad que la cadena de comercialización mantendrá una temperatura cercana a los 5 °C.

### Color

Transcurrido 1 día de conservación a 5 °C los valores del parámetro  $L^*$  fueron 44 a 45 mientras que los de Chroma y Hue fueron de 29 a 31 y de 123 a 125, respectivamente y sin diferencias significativas entre tratamientos. Al final del periodo de conservación, los valores de  $L$  estuvieron entre 44 y 45, Chroma entre 29 a 31 y Hue de 120 a 123, observándose una disminución leve con respecto al día 1, sin diferencias significativas entre los tratamientos (datos no presentados).

Las distintas dosis de UV-C (0,34 a 20,13  $kJ m^{-2}$ ) aplicadas a hojas de rúcula envasadas en atmósfera modificada a 5 °C no afectaron su color, que se mantuvo estable durante 10 días. Similares resultados fueron descritos en espinacas, donde el uso de UV-C en dosis entre 4,5 a 11,3  $kJ m^{-2}$  mantuvo estables los parámetros de color  $L$ , Chroma y Hue durante 13 días en atmósfera modificada pasiva a 5 °C (Artés-Hernández *et al.*, 2008).

### Crecimiento microbiano

La materia prima presentó una carga de aerobios mesófilos de 7,9  $\log ufc g^{-1}$ . Los recuentos de mesófilos luego de los tratamientos de desinfección, lavado con NaOCl y desinfección con radiación UV-C fueron de 6,5 a 6,8  $\log ufc g^{-1}$ , por lo que los tratamientos lograron bajar la carga de estos microorganismos en 1  $\log ufc g^{-1}$  (Figura 4A). Los valores menores correspondieron a las dosis de radiación UV-C más altas y a la rúcula desinfectada con NaOCl.

En el décimo día de almacenaje las hojas tratadas con las dosis de 15,14 a 20,13  $kJ m^{-2}$  presentaron resultados similares a los recuentos del primer día, con valores en torno a 7  $\log ufc g^{-1}$ , mientras que los tratamientos restantes obtuvieron recuentos superiores a 7,5  $\log ufc g^{-1}$ .

Los recuentos iniciales de aerobios mesófilos (materia prima) y los recuentos posteriores a la aplicación de los tratamientos fueron altos, superando el límite permitido (5,7  $\log ufc g^{-1}$ ) para frutas y hortalizas pre-elaboradas listas para su consumo que establece el Reglamento Sanitario de los Alimentos en Chile (Chile. Ministerio de Salud Pública, 1997).

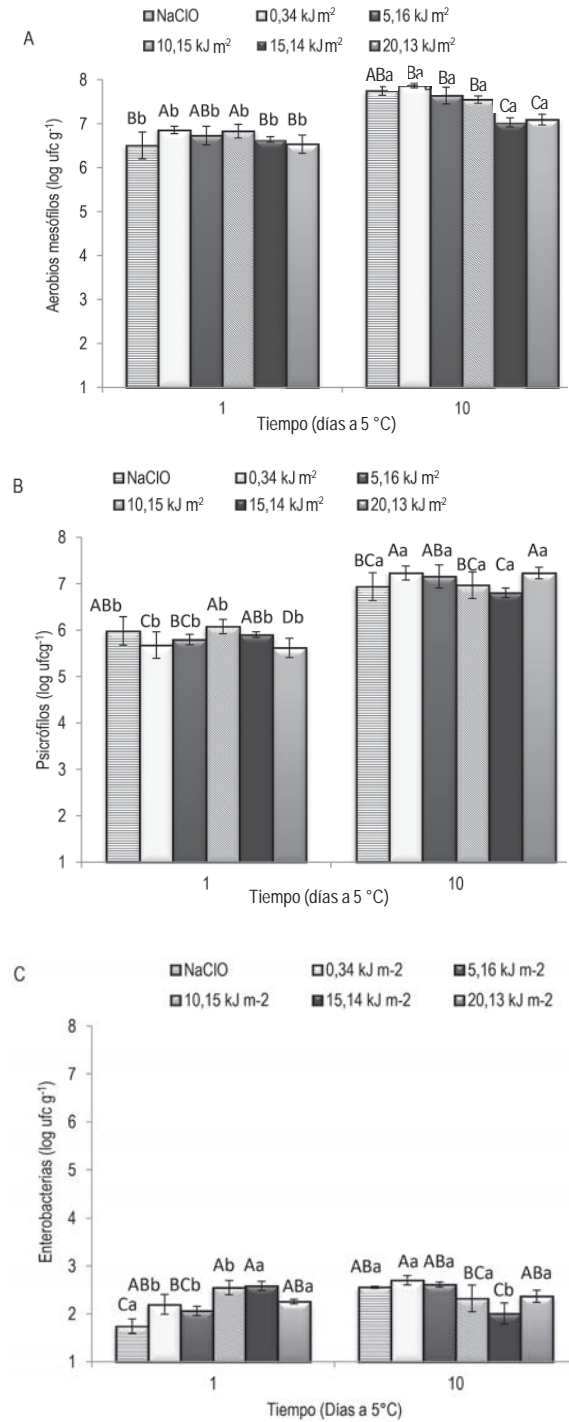
Con relación a los psicrófilos, luego de un día de conservación refrigerada los recuentos fueron de 5,6 a 6,1  $\log ufc g^{-1}$  (Figura 4B). Las distintas dosis de UV-C y el testigo lograron reducir entre 1,3 y 1,2 unidades logarítmicas con relación a los recuentos iniciales obtenidos de la materia prima (7,4  $\log ufc g^{-1}$ ) siendo la mayor dosis de UV-C la más efectiva.

Al cabo de 10 días de conservación, los recuentos aumentaron en promedio 1,2 unidades logarítmicas en comparación al primer día, siendo los valores de entre 6,8 y 7,2  $\log ufc g^{-1}$  y correspondiendo los menores recuentos a la rúcula tratada con 15,14  $kJ m^{-2}$ .

La materia prima presentó recuentos de enterobacterias de 2,4  $\log ufc g^{-1}$ . Luego de la aplicación de los tratamientos de desinfección, las distintas dosis de UV-C no redujeron la carga microbiana mientras que con NaClO (testigo) se redujo en 1,7  $\log ufc g^{-1}$  (Figura 4C). A los 10 días se observó un aumento en los recuentos de enterobacterias en el testigo y con las menores dosis de radiación UV-C (0,34 y 5,16  $kJ m^{-2}$ ) con valores de 2,6 a 2,7  $\log ufc g^{-1}$ . Las hojas tratadas con la dosis de 15,14 presentaron los menores recuentos, siendo menores que los observados inicialmente.

De acuerdo con el Ministerio de Salud de Chile, el límite máximo permitido de enterobacterias en frutas y hortalizas pre-elaboradas listas para su consumo es de 4,7  $\log ufc g^{-1}$  por lo que los diferentes tratamientos permiten mantener la carga dentro de valores aceptables al cabo de 10 días de conservación a 5 °C.

Los recuentos de hongos obtenidos de la materia prima fueron de 1,6  $\log ufc g^{-1}$  y tras 10 días de la aplicación de los tratamientos se mantuvieron inferiores a 2  $\log ufc g^{-1}$  (datos no presentados). En el caso de las levaduras, los recuentos en la materia prima fueron inferiores a 1  $\log ufc g^{-1}$ , y se mantuvieron luego de la aplicación de los tratamientos y hasta el final de la conservación (datos no presentados).



**Figura 4.** Recuento microbiológico (log ufc g<sup>-1</sup>) en rúcula conservada a 5 °C durante 10 días.

(A) Aerobios mesófilos, (B) Psicrófilos, (C) Enterobacterias. Los valores son medias (n = 3). Las barras verticales indican el error estándar de la media. Valores seguidos por las mismas letras, mayúsculas para tratamientos y minúsculas para tiempo, no difieren entre sí a un nivel de significancia del 5% según prueba de Tukey.



Los tratamientos de desinfección, tanto el lavado con NaClO como la aplicación de UV-C, permitieron reducir en alrededor de 1 unidad logarítmica la carga inicial de mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, hongos y levaduras. En el caso de los aerobios mesófilos las dosis más altas de radiación UV-C mantuvieron los menores recuentos luego de 10 días a 5 °C. Sin embargo, el comportamiento inicial observado en el caso de los psicrófilos no se mantuvo luego de 10 días de conservación. En las enterobacterias la reducción inicial se mantuvo luego de 10 días, siendo la dosis de 15,14 la de mejor comportamiento.

Una tendencia similar fue observada en hojas de espinacas conservadas en atmósferas con bajo O<sub>2</sub>, en donde la tasa de crecimiento de mesófilos fue menor en hojas tratadas con UV-C (0-11 kJ m<sup>-2</sup>), frente a las hojas sin tratar (Artés-Hernández *et al.*, 2008). También se ha reportado que en hojas de lechuga roja del tipo «hoja de roble» tratadas con dosis de UV-C de 1,1 a 7,1 kJ m<sup>-2</sup> el aumento en los recuentos de mesófilos tras 10 días de conservación refrigerada fue de dos unidades logarítmicas, mientras que en enterobacterias el aumento fue inferior a 1 unidad logarítmica. En consecuencia la radiación UV-C tendría efecto en la reducción de la tasa de crecimiento de los microorganismos (Allende y Artés, 2003a).

Según Inestroza-Lizardo y Escalona (2015) la rúcula tratada con radiación UV-C (4 y 5 kJ m<sup>-2</sup>) no mostró diferencias frente a la desinfectada con NaOCl (100 mg L<sup>-1</sup>) en los recuentos de mesófilos, psicrófilos y enterobacterias luego de ocho días a 5 °C. Por lo tanto, al comparar los resultados de estos trabajos con los obtenidos por nosotros encontramos que el aumento de la dosis implicó una reducción de la carga microbiológica.

Por otra parte, el control del crecimiento microbiano podría deberse al efecto sinérgico de los tratamientos de desinfección y la modificación de la atmósfera, tal como fuera reportado en otros trabajos (Allende y Artés, 2003b; Artés *et al.*, 2009; Martínez-Sánchez *et al.*, 2006a, 2006b; Tomás-Callejas *et al.*, 2012).

### Evaluación sensorial

Luego de la aplicación de los tratamientos de desinfección, las puntuaciones asignadas por los jueces para el parámetro apariencia fueron de 11 a 13, sin diferencias significativas entre los tratamientos. Durante los días posteriores la apariencia fue disminuyendo con puntuaciones de 8 a 10 para el décimo día, manteniéndose por sobre la media

aceptable establecida (7,5) durante 10 días a 5 °C (datos no presentados).

El parámetro color fue disminuyendo en sus puntuaciones durante la conservación. En el día 1 se asignaron valores de 10 a 12 y tras 7 días de almacenaje las puntuaciones obtenidas fueron de 9 a 11, sin que se registraran diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los momentos de evaluación (datos no presentados). Sin embargo, en el décimo día los tratamientos de UV-C obtuvieron puntuaciones de 7 a 8, cercanas a la media aceptable (7,5) y significativamente menores a los valores asignados por los jueces a los tratamientos de desinfección con 15,14 kJ m<sup>-2</sup> y el testigo (NaClO) que obtuvieron puntuaciones de 9. La pérdida de color verde observada al final de la conservación está en relación con la disminución del tono observado en el análisis instrumental de color.

Con relación al efecto de la radiación UV-C aplicada a diferentes productos vegetales, sobre los parámetros sensoriales, no se observó un efecto sobre berro MP tratado con dosis de entre 6 y 18 kJ m<sup>-2</sup> y conservado durante 14 días a 5 °C (Hinojosa *et al.*, 2013). En otros casos la radiación UV-C permitió mantener los parámetros sensoriales en mejor medida que en los productos sin tratar como en el caso de frutilla tratada con 4 kJ m<sup>-2</sup> (Cote *et al.*, 2013).

### Conclusiones

Durante el transcurso del almacenaje la tasa respiratoria de las hojas de rúcula tratadas con radiación UV-C y con NaClO disminuyó, presentando tras 10 días tasas respiratorias 50 % inferiores a las del día 1. Las dosis de UV-C de 15,14 y 20,13 kJ m<sup>-2</sup> aumentaron la tasa respiratoria de las hojas de rúcula en un 40 % por sobre el testigo.

La atmósfera generada al envasar las hojas de rúcula fue de 5 % de O<sub>2</sub>. Sin embargo, durante el periodo de almacenaje la atmósfera al interior de las bolsas se estabilizó al cuarto día en 13 a 19 % O<sub>2</sub> y 2 a 4 % CO<sub>2</sub>.

La aplicación de UV-C generó reducciones cercanas a 1 unidad logarítmica en los recuentos de aerobios mesófilos, aerobios psicrófilos, enterobacterias, hongos y levaduras y no afectó la apariencia general de las hojas de rúcula.

Dosis de UV-C superiores a 15,14 kJ m<sup>-2</sup>, si bien afectan la respiración de la rúcula MP, no determinan un efecto negativo sobre la calidad organoléptica y permiten controlar el crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos por 10 días a 5 °C. Sin embargo, consideramos que, dada la alta carga microbiológica inicial de la materia prima, se-

ría necesario generar más información para concluir qué dosis resulta realmente más efectiva para el control del crecimiento microbiano, de modo de que la información se pueda transferir a la industria elaboradora de este tipo de productos.

## Agradecimientos

Agradecemos a los proyectos CONICYT-FONDECYT (Chile) N° 1090059 1120274 por la financiación para realizar este trabajo. También se agradece al Proyecto CONICYT-FONDECYT Postdoctorado (Chile) N° 3130363 por la financiación a la Dra. Silveira.

Agradecemos también a la Red Temática Hortyfresco (113RT0480) financiada por CONICYT (Chile) y CYTED (España).

## Bibliografía

- Allende A, Artés F. 2003a. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed «Lollo Rosso» lettuce. *Food Research International*, 36(7): 739 - 746.
- Allende A, Artés F. 2003b. Combined ultraviolet - C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce LWT. *Food Science and Technology*, 36: 779 - 786.
- Allende A, McEvoy JL, Luo YG, Artés F, Wang CY. 2006. Effectiveness of two side UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed «Red Oak Leaf» lettuce. *Food Microbiology*, 23: 241 - 249.
- Araya E. 2006. Curso Evaluación Sensorial de los Alimentos : Guía de laboratorio. Santiago de Chile : Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 68p.
- Artés F. 2006. El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2): 61 - 85.
- Artés F, Gómez P, Aguayo E, Escalona V, Artés-Hernández F. 2009. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 287 - 296.
- Artés-Hernández F, Aguayo E, Artés F, Gómez P. 2009. Productos vegetales mínimamente procesados o de cuarta gama. *Horticultura Internacional*, 69: 52 - 57.
- Artés-Hernández F, Escalona V, Robles P, Martínez-Hernández G, Artés F. 2008. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3): 414 - 421.
- Baka M, Mercier J, Corcuff R, Castaigne F, Arul J. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. *Journal of Food Science*, 64: 1068 - 1072.
- Barth M, Hankinson T, Zhuang H, Breidt F. 2009. Microbiological spoilage of fruits and vegetables. En: Sperber WH, Doyle MP. [Eds.]. Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages, food microbiology and food safety. New York : Springer. pp. 135 - 183.
- Ben-Yehoshua S, Mercier J. 2005. UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables. En: Ben-Yehoshua S. [Ed.] Environmentally friendly technologies for agricultural produce quality. Boca Raton : CRC Press. pp. 265 - 269.
- Bintsis T, Litopoulou-Tzanetaki E, Robinson RK. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry, a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 637 - 645.
- Chile. Ministerio de Salud Pública. 1997. Reglamento sanitario de los alimentos : Decreto supremo 977. Diario oficial 1997 mayo 13. Santiago : Dpto. de Asesoría Jurídica pp. 150 - 151.
- Cote S, Rodoni L, Concellón A, Civello G, Vicente A. 2013. Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 83: 83 - 89.
- Escalona V, Aguayo E, Martínez-Hernández G, Artés F. 2010a. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*, 56(3): 223 - 231.
- Escalona V, Verlinden B, Geysen S, Nicolai B. 2010b. Quality changes of fresh-cut butterhead lettuce under sub- and superatmospheric oxygen condition. *Acta Horticulturae*, 857: 137 - 144.
- Garmendia G, Vero S. 2006. Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura*, 197: 18 - 27.
- Hinojosa A, Silveira AC, Ospina M, Char C, Saenz C, Escalona VH. 2013. Safety of ready-to-eat watercress using environmentally friendly sanitization methods. *Journal of Food Quality*, 36: 66 - 76.
- Inestroza-Lizardo C, Escalona V. 2015. Sanitizantes emergentes : una alternativa en la postcosecha de la rúcula. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1): 14 - 23.
- Kader A. 2002. Atmósferas modificadas en el transporte y almacenamiento. En: Kader A. [Ed.]. Tecnología Postcosecha de cultivos Hortofrutícolas. California : Universidad de Davis. pp. 157 - 168.
- Manchali S, Chidambara-Murthy KN, Patil BS. 2012. Crucial facts about health benefits of popular Cruciferous vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4: 94 - 106.
- Martínez-Sánchez A, Marin A, Llorach R, Ferreres F, Gil MI. 2006a. Controlled atmosphere preserves quality and phytonutrients in wild rocket (*Diplomatix tenuifolia*). *Postharvest Biology and Technology*, 40: 26 - 33.
- Martínez-Sánchez A, Allende A, Bennett R, Ferreres F, Gil MI. 2006b. Microbial, nutritional and sensory quality of arugula leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology*, 42: 86 - 97.
- Rojas-Graü M, Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2008. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables : A Review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 875 - 889.
- Tomás-Callejas A, Otón M, Artés F, Artés-Hernández F. 2012. Combined effect of UV-C radiation and superatmospheric oxygen packaging on overall quality of fresh-cut Tatsoi baby leaves. *Innovative in Food Science and Emerging Technology*, 14: 115 - 121.
- Wiley R. 1997. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Zaragoza : Acribia. 362p.
- Zacarias I, Rodríguez L, Lera L, Hill R, Domper A, González D. 2009. Consumo de verduras y frutas en centros de salud y supermercados de la Región Metropolitana de Chile: Programa 5 al día. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(2): 159 - 168.