

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

APLICACIÓN DE RADIACIÓN UV-C SOBRE HOJAS DE BERRO
(*Nasturtium officinale* R. Br.) MÍNIMAMENTE PROCESADO
CONSERVADO BAJO ATMÓSFERA MODIFICADA

CLAUDIA FRANCISCA SÁNCHEZ BOBADILLA

Santiago – Chile
2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

APLICACIÓN DE RADIACIÓN UV-C SOBRE HOJAS DE BERRO
(*Nasturtium officinale R. Br.*) MÍNIMAMENTE PROCESADO
CONSERVADO BAJO ATMÓSFERA MODIFICADA

APPLICATION OF UV-C RADIATION ON LEAVES OF WATERCREES
(*Nasturtium officinale R. Br.*) MINIMAL PROCESSING PRESERV UNDER
MODIFIED ATMOSPHERE

CLAUDIA FRANCISCA SÁNCHEZ BOBADILLA

Santiago – Chile
2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

APLICACIÓN DE RADIACIÓN UV-C SOBRE HOJAS DE BERRO
(*Nasturtium officinale R. Br.*) MÍNIMAMENTE PROCESADO
CONSERVADO BAJO ATMÓSFERA MODIFICADA

Memoria para optar al Título Profesional de
Ingeniero Agrónomo

CLAUDIA FRANCISCA SÁNCHEZ BOBADILLA

PROFESORES GUÍAS	Calificaciones
Sr. Víctor Escalona C. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5
Sra. Carmen Prieto D. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,3
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Ítalo Chiffelle G. Bioquímico, Dr.	6,0
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8

Santiago – Chile
2013

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	5
Objetivo	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Lugar de Estudio	6
Materiales	6
Metodología	6
Parámetros medidos	9
Tasa respiratoria	9
Atmósfera modificada pasiva	10
Recuento microbiológico	10
Color	10
Determinación de la calidad sensorial	11
Diseño experimental y análisis estadístico	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Ensayo I	13
Tasa respiratoria	13
Atmósfera modificada pasiva	14
Recuento microbiológico	15
Color	17
Evaluación Sensorial	20
Ensayo II	23
Tasa respiratoria	23
Atmósfera modificada pasiva	24
Recuento microbiológico	26

Color	30
Evaluación Sensorial	34
CONCLUSIÓN	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXO I	43
ANEXO II	44
APÉNDICE I	45
APÉNDICE II	49
APÉNDICE III	53

RESUMEN

Los productos mínimamente procesados en fresco (MPF) están listos para consumir, es por esto que su higienización es la principal etapa, donde el sanitizante más usado es hipoclorito de sodio (NaClO). Este sanitizante podría generar residuos y la posible formación de compuestos cancerígenos, por esto la industria de alimentos MPF está buscando nuevas alternativas más amigables con el medio ambiente y para la salud humana. En este sentido, la sanitización con radiación UV-C es un método que no deja residuos en el alimento, en combinación con el uso de atmósfera modificada, las hortalizas se mantienen con una baja respiración, alargando su vida útil.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre la tasa respiratoria y la carga microbiana de hojas de berros MPF. Para esto se utilizaron berros hidropónicos tratados con 5 dosis de UV-C de 0,34 a 20,13 kJ m² y un tratamiento con hipoclorito de sodio (100 mg L⁻¹) como testigo. Todos los tratamientos fueron envasados en atmósfera modificada y almacenados a 5 °C durante 10 días. Se evaluaron los parámetros de respiración, concentración de gases en las bolsas, color, recuento microbiológico y parámetros sensoriales.

Las hojas de berros tratados con 20,13 kJ m⁻² de radiación UV-C presentaron la tasa respiratoria más baja que el resto de los tratamientos aplicados, con 23,4 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹. Sin embargo, esta dosis, no fue efectiva en la reducción de la carga microbiana. Tras 10 días de almacenamiento, los recuentos de aerobios mesófilos más bajos se obtuvieron con dosis de 10,15 y 15,14 kJ m⁻², siendo de 4,3 y 4,5 log UFC g⁻¹ respectivamente, en tanto, que 20,13 kJ m², presentó la mayor carga, 7,8 log UFC g⁻¹.

Los tratamientos con UV-C obtuvo resultados de color y análisis sensorial similar al NaClO 100 mg L⁻¹, por tanto la UV-C surge como una buena alternativa como tratamiento sanitizante en hojas de berros.

Palabras claves: Hipoclorito de sodio, radiación UV-C, mínimo proceso.

ABSTRACT

The fresh-cut vegetable (MPF) are ready to consume, reason why the sanitization is the main stage, where the most widely used sanitizer is sodium hypochlorite (NaClO). This sanitizer could generate waste and the possible formation of carcinogenic compounds, so the food industry is looking for new alternatives MPF friendlier to the environment and to human health. In this sense, the sanitization with UV-C is a method that leaves no residue in the food and, in combination with the use of modified atmosphere, vegetables remain a low breath, extending its life.

The aim of this study was to evaluate the effect of UV-C radiation on respiration rate and microbial load MPF watercress leaves. This was used for hydroponic watercress treated with 5 doses of UV-C from 0.34 to 20.13 kJ m⁻² and a treatment with sodium hypochlorite (100 mg L⁻¹) as a control. All treatments were modified atmosphere packaged and stored at 5 ° C for 10 days. Parameters were evaluated breathing, concentration of gases in the bags, color, microbiological counts and sensory parameters.

Watercress leaves treated with 20.13 kJ m⁻² UV-C had respiratory rate lower than the rest of the treatments applied with 23.4 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. However, this dose, was not effective in reducing microbial load. After 10 days of storage, mesophilic aerobic counts were obtained with doses of 10.15 and 15.14 kJ m⁻², with 4.3 and 4.5 log cfu g⁻¹ respectively, and that 20.13 kJ m⁻² had the highest, 7.8 log cfu g⁻¹.

The treatment with UV-C and scored color NaClO sensory analysis similar to 100 mg L⁻¹, therefore the UV-C emerges as a good alternative for treatment in watercress leaves sanitizer.

Keywords: Sodium hypochlorite, radiation UV-C, fresh cut.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la investigación en nutrición humana ha puesto de manifiesto que una dieta adecuada, rica en frutas y hortalizas, conlleva a mejorar la salud y a prevenir ciertas enfermedades como el cáncer, la arteriosclerosis, déficit en el sistema inmunitario, etc. (Kris-Etherton *et al.*, 2002; Higdon *et al.*, 2007; Lako *et al.*, 2007). Los productos vegetales son fuente importante de vitaminas, minerales y fibras, incluyendo otras sustancias que no pueden ser sintetizadas por el cuerpo humano, como la vitamina C (Liu, 2004; Lako *et al.*, 2007; Martínez-Sánchez, 2008).

Es así que nuevas costumbres en la alimentación, cambios en los estilos de vida y la necesidad de reducir el tiempo para preparar los alimentos, han ocasionado un incremento en la demanda de frutas y hortalizas mínimamente procesadas (listas para su consumo) (González-Aguilar *et al.*, 2004).

Los productos mínimamente procesados en fresco (MPF) se definen como frutas y hortalizas frescas, limpias, troceadas y envasadas para su consumo, normalmente en bolsas, tarrinas o bandejas y su vida útil difiere según los vegetales frescos, variando entre 7 a 10 días cuando se conservan en un rango de 0 – 5 °C. Las hortalizas MPF son preparadas y manipuladas mediante operaciones simples como el lavado, cortado, picado, rebanado, rallado u otras, muchas de las cuales incrementan su perecibilidad. El resultado es un alimento fresco, con características casi idénticas al estado original del cual proceden, que puede ser preparado y consumido en un menor tiempo y totalmente comestible (Ahvenainen, 1996; Watada y Qi, 1999; Martínez - Sánchez, 2008).

Un producto MPF de buena calidad se puede definir por una apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y una vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución. Si alguna de estas características de calidad no se cumple o se encuentra por debajo de los valores mínimos aceptables para cada parámetro, el producto pierde automáticamente su valor comercial (Rojas, 2006). De ahí que estos alimentos estén obligados a la permanencia constante bajo refrigeración y envasado en atmósfera modificada (EAM), que resguarde con eficacia el producto elaborado (Artés *et al.*, 1999).

Las operaciones mecánicas para la preparación de los productos MPF lesionan parcialmente sus tejidos, pudiendo causar efectos fisiológicos, incluyendo la producción de etileno, aumento de la respiración, deterioro de la membrana, pérdida de agua y susceptibilidad al daño microbiológico (Toivonen y De Ell, 2002 citado por Rico *et al.*, 2007) por lo que aumenta la tasa de senescencia de estos tejidos, reduciendo su resistencia a la descomposición microbiana (Artés-Hernández *et al.*, 2007), disminuyendo drásticamente la vida útil del alimento (Ahvenainen, 1996). Las hortalizas mínimamente procesadas, por su alto pH en comparación a las frutas, la alta humedad y el aumento de la superficie de contacto debido al corte, proporcionan condiciones ideales para el crecimiento de

microorganismos (Ahvenainen, 1996; Wiley, 1997), lo cual afecta la seguridad y las características sensoriales del producto MPF (Escalona y Lushinger, 2008; Alegría *et al.*, 2009).

El lavado del producto inmediatamente después del corte remueve azúcares y otros nutrientes de las superficies cortadas, los cuales favorecen el crecimiento microbiano y el oscurecimiento del tejido (Kader, 2002). La carga microbiana de los vegetales está compuesta en su mayoría por bacterias, entre las que se puede encontrar el género ácido-láctico y enterobacterias, mezcladas con hongos y levaduras (Brackett, 1992 citado por Rodríguez *et al.*, 2006). La población bacteriana dominante de hortalizas, durante el almacenamiento a bajas temperaturas, consiste principalmente en especies pertenecientes a las familias *Pseudomonadaceae* y *Enterobacteriaceae* (Zagory, 1999). En la línea de proceso del mínimo procesamiento, la etapa del lavado y/o sanitización es la única operación donde la suciedad, residuos de pesticidas y los microorganismos responsables de la pérdida de la calidad se pueden disminuir (Sapers, 2003).

El éxito del lavado depende del microorganismo que se desea atacar, características de la superficie vegetal, tipo de lavado, tiempo de exposición, dosis, temperatura, pH, etc. Adicionalmente, la carga microbiana que permanece crece rápidamente, alcanzando valores similares a aquellos productos que no han sido lavados, por lo que mantener esta reducción durante el almacenamiento es tan importante como la reducción microbiana durante al lavado (Ragaert *et al.*, 2007).

El hipoclorito de sodio ha sido el agente sanitizante más utilizado en la industria de los alimentos durante décadas (Martínez-Sánchez *et al.*, 2006a). Sin embargo, la información disponible indica que está asociado con la posible formación en agua de compuestos clorados cancerígenos, es insuficiente en la reducción microbiana y existe preocupación sobre la contaminación al medio ambiente (Rico *et al.*, 2007). Debido a estos problemas, el uso del hipoclorito de sodio está siendo altamente cuestionado y la industria alimentaria está buscando nuevas alternativas que garanticen la seguridad del producto, mantengan una buena calidad y también permitan alargar su vida útil (Ölmez y Kretzschmar, 2009).

La radiación UV-C es una innovación tecnológica encaminada a reducir la carga del producto vegetal antes de la etapa de envasado. Esta emisión de luz ultravioleta tiene longitudes de onda de 190 a 280 nm, donde aproximadamente el 95% de las lámparas germicidas con presión de mercurio, emiten energía UV-C con una longitud de onda de 254 nm, que coincide con la actividad germicida máxima (Artés-Calero *et al.*, 2009). El mecanismo de acción de la radiación UV-C en la inactivación microbiana reside en el daño que causa al ADN y generar así mutaciones que bloquean la replicación, la cual si no es reparada conduce a la muerte celular (Snowball y Hornsey, 1988; citado por Rivera *et al.*, 2007)

Específicamente, la luz UV-C daña al ácido nucleico de los microorganismos, que forma los enlaces covalentes entre ciertas bases adyacentes en el ADN, denominados dímeros de pirimidinas. La formación de tales enlaces impide que el ADN se abra para su replicación,

y así el microorganismo es incapaz de reproducirse. La resistencia de los microorganismos a los tratamientos de UV-C está determinada principalmente por su habilidad para reparar el ADN dañado (Lado y Yousef, 2002).

Rivera *et al.*, (2007) sugieren que la matriz (composición química y ordenamiento estructural) propia del alimento juega un papel importante en el daño causado por la irradiación UV-C en el ADN de los microorganismos, ya que dosis similares de esta irradiación tienen efectos diferentes en el crecimiento de una misma especie microbiana. Por ello, la evaluación de esta tecnología en cada producto en particular resulta imprescindible para definir las dosis de aplicación y los posibles cambios en la calidad del producto.

La desinfección con radiación UV-C ofrece varias ventajas para las industrias de alimentos, ya que es un proceso simple, requiere un coste de mantenimiento bajo y es letal para la mayoría de los microorganismos. Además, no deja residuos y no afecta las características sensoriales (sabor y aroma) del producto (Bintsis *et al.*, 2000).

Para los productos MPF, el envasado en atmósfera modificada (EAM) es un complemento necesario a la refrigeración para reducir su tasa de deterioro y prolongar la vida útil. El EAM implica el uso de películas plásticas con permeabilidades selectivas al O₂, CO₂, etileno (C₂H₄) y al vapor de agua. En el interior del envase se genera una modificación atmosférica como resultado de la respiración de los tejidos vegetales y la difusión de gas característica de la película (Kader, 2002).

En el presente estudio se utilizaron hojas de berro (*Nasturtium officinale* R. Br.), el cual es una hierba perenne de la familia de las *Brassicaceae*, nativa de Europa y de importancia económica en algunos países como Portugal, con amplias aplicaciones en las cocinas locales. Las hojas de berro crudo se utilizan como ensalada o también pueden ser consumidas al vapor. El berro contiene una gran cantidad de vitamina C, provitamina A, ácido fólico, yodo, hierro, proteínas, y, sobre todo, calcio y compuestos de azufre, los cuales influyen en su aroma característico y en sus beneficios nutricionales (Gonçalves *et al.*, 2009). Además, el berro ha sido objeto de varios estudios sobre sus propiedades anticancerígenas debido a su alto contenido de antioxidantes (Murphy *et al.*, 2001).

Hipótesis

El tratamiento de hojas de berros con radiación UV-C y envasado en atmósfera modificada reduce la carga microbiana.

Objetivo

Evaluar el efecto de diferentes dosis de radiación UV-C para reducir la carga microbiana en hojas de berros envasadas en atmósfera modificada conservadas a 5 °C.

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar de Estudio

Los ensayos se realizaron en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) y en los laboratorios de Evaluación Sensorial y Análisis Microbiológicos del Departamento de Agroindustria y Enología, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Esta memoria de título fue financiada por el proyecto Fondecyt N° 1090059. “Technology Innovations Applied to Novel Fresh-cut Leaf Vegetables: Quality and Food Safety”.

Materiales

Se utilizaron hojas de berros provenientes de un cultivo hidropónico de la empresa “Mas Vida S.A.” ubicado en camino Lonquén, Comuna de Calera de Tango, Región Metropolitana. Los berros se cosecharon manualmente sin la utilización de cuchillos, con una longitud de 20 a 25cm después de 25 a 30 días después de la siembra.

Para la desinfección se utilizaron dióxido de cloro (ClO_2 , Winzaclor-5, marca Winkler) y radiación UV-C, aplicada en una cámara de radiación de 1,3 m de largo, 0,5 m de ancho y 0,6 m de alto, con 6 lámparas germicidas sin filtro de 36 W (TUV 36W/G36 T8, Philips), tres lámparas ubicadas en la parte superior y las otras 3 en la parte inferior, con una rejilla de acero inoxidable de $0,63 \text{ m}^2$, localizada a media altura, a 0,24m de las lámparas (Apéndice III).

Las hojas de berros se envasaron en bolsas plásticas, modelo PD-961EZ, proporcionadas por la empresa CRYOVAC, Sealed Air Corporation Chile. La permeabilidad de la bolsa a 23 °C y a 1 atm es de $7.000 \text{ mL m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para O_2 y de $21.000 \text{ mL m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para CO_2 . El tamaño de las bolsas fue 20 x 15 cm.

Metodología

Las hojas de berros cosechadas se llevaron al CEPOC en un camión refrigerado y se almacenaron a 0 °C en oscuridad y a 95% de humedad relativa durante un día hasta su procesamiento (Figura 1). Desde la cámara de almacenamiento se llevaron las hojas de berros a la sala de manipulación y acondicionamiento donde se trabajó a una temperatura de 8 °C , previamente sanitizada, donde se realizó una selección visual (Wiley 1997) y se

eliminaron las hojas que presentaron un color no característico (amarillamiento u otro), falta de turgencia (pérdida de agua), daño físico y podredumbres.

Antes de procesar los berros, se les realizó un lavado de inmersión con agua potable a 5 °C por 5 min, con el fin de retirar cualquier material extraño. Luego se eliminaron los tallos lignificados mediante cuchillos de filo liso. Posteriormente se aplicaron los diferentes tratamientos descritos a continuación. Se determinó el pH del agua utilizada (pH = 7,7; Cl libre = 0) y de la solución de HS (pH = 8,2 y Cl libre = 97 mg/L), mediante un pHmetro marca Hanna Instruments, modelo pH 21; y se midió el Cl libre con un medidor fotométrico de cloro marca Hanna Instruments modelo HI 95771C. Los tratamientos fueron:

- **Desinfección de hipoclorito de sodio (NaClO, 100 mg L⁻¹)**

Las hojas de berros se lavaron por inmersión por 3 min en 100 mg L⁻¹ HS, luego se escurrieron sobre una malla de acero inoxidable y posteriormente se eliminó el exceso de agua mediante una centrifuga manual.

- **Lavado con agua potable a 5 °C**

Las hojas de berros se lavaron por inmersión por 3 min en agua potable a 5 °C, luego se escurrieron sobre una malla de acero inoxidable y posteriormente se eliminó el exceso de agua mediante una centrífuga manual.

- **Desinfección con radiación UV-C**

Las hojas de berros se colocaron sobre una rejilla de acero inoxidable al interior de la cámara de radiación para aplicarles la luz UV-C. Se aplicaron 5 diferentes dosis de radiación, las que fueron dadas por el tiempo de exposición a la luz UV-C. En el Cuadro 1 se detallan los tiempos de exposición para las diferentes dosis de radiación.

Posteriormente, para todos los tratamientos se colocaron 50 g de hojas de berros al interior de las bolsas PD-961EZ que se sellaron con calor generando una atmósfera modificada pasiva (AMP) y se almacenaron durante 13 días a 5 °C. Se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento.

Se realizaron 2 ensayos siguiendo la misma metodología, con el fin de corroborar los resultados.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo del procesamiento.

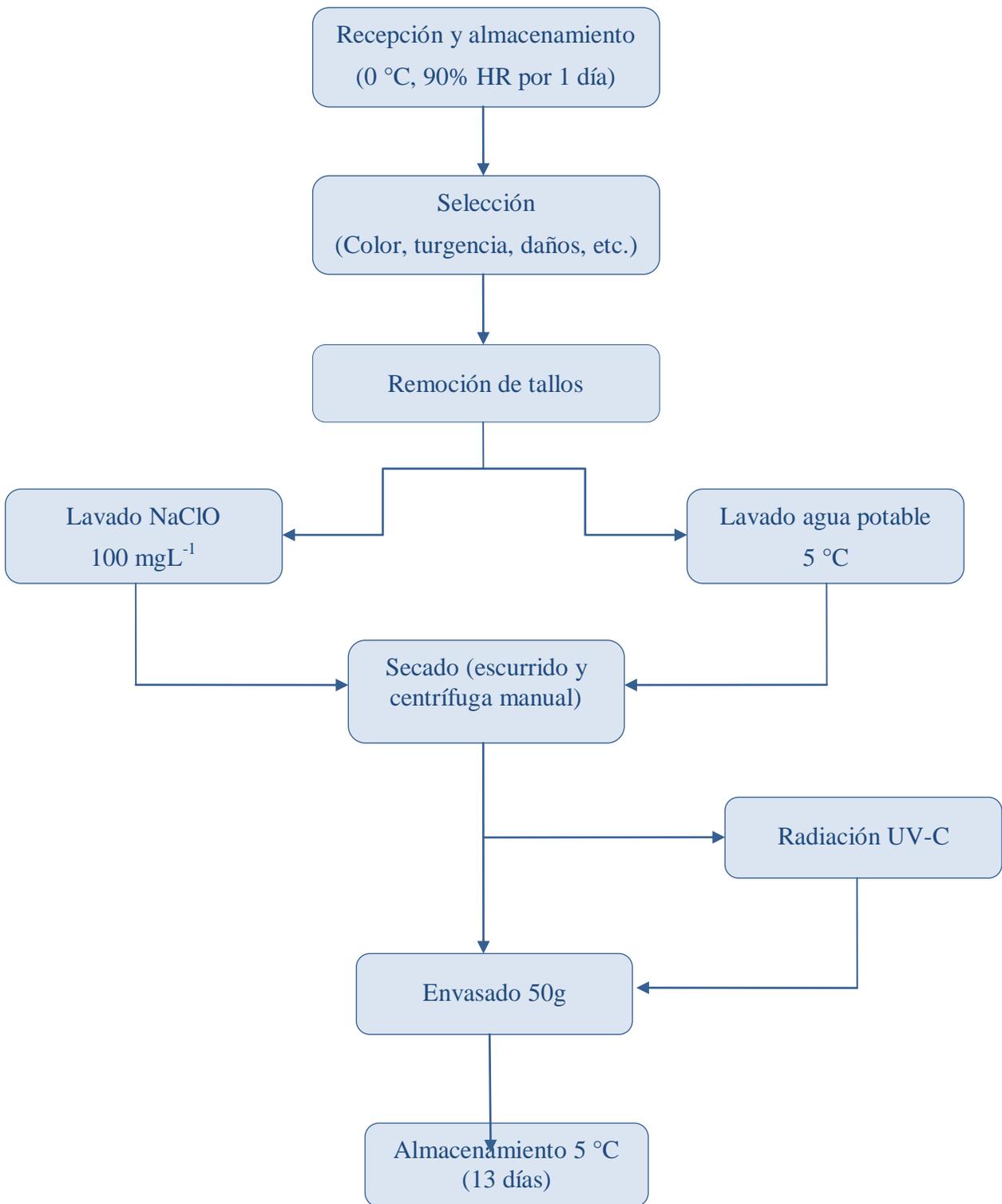


Figura 1. Diagrama de flujo de procesamiento de hojas de berros

Cuadro 1. Tratamientos aplicados para la desinfección de hojas de berros mínimamente procesados envasados en atmósfera modificada y almacenados por 10 días.

Tratamiento	Lavado con NaClO	Dosis de UV-C (kJ m^{-2})
1	100 mg L ⁻¹	SA
2	SA	SA
3	SA	0,34 kJ m^{-2}
4	SA	5,16 kJ m^{-2}
5	SA	10,15 kJ m^{-2}
6	SA	15,14 kJ m^{-2}
7	SA	20,13 kJ m^{-2}

SA: Sin Aplicación

Parámetros medidos

Se realizaron mediciones cada 2 ó 3 días en ambos ensayos para los siguientes parámetros:

Tasa respiratoria. Se determinó mediante un método estático (Kader *et al.*, 1989) colocando 50 ± 5 g de hojas de berros en recipientes de vidrio de 500 mL, herméticamente sellados. Los frascos estaban provistos de un septum de silicona en su tapa, a través del cual se tomaron muestras gaseosas con una jeringa de plástico de 10 mL (Nitro Argentina) tras una hora de cierre de los frascos (Figura 2A). La muestra se extrajo del espacio de cabeza de los frascos y se inyectó en un cromatógrafo de gases (CG) Hewlett Packard 5890 Serie II (Figura 2B). La tasa respiratoria se expresó como la producción de CO_2 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).



Figura 2. Toma de muestra gaseosa (A), inyección de los tratamientos para la medición de tasa respiratoria (B)

Atmósfera modificada pasiva. Se determinó la evolución de la concentración de gases CO₂ y O₂ al interior de las bolsas. Se tomaron muestras gaseosas de 10 mL con una jeringa de plástico. La medición de los gases presentes en la bolsa fueron cuantificados de la misma forma descrita en la tasa respiratoria anteriormente. Los valores fueron expresados como porcentaje de O₂ y CO₂.

Análisis microbiológico. Se realizaron recuentos de bacterias aerobias mesófilas, psicrófilas, lactobacillus y hongos y levaduras. Se tomaron tres muestras por tratamiento, de 10 g cada una, obtenidas de bolsas independientes, que se homogenizaron, por separado, con 90 mL de agua peptonada estéril, durante 1 min dentro de una bolsa estéril usando un masticador (IUL, España). Los medios de cultivos, temperaturas y tiempo de incubación utilizados se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Condiciones de incubación de los diferentes microorganismos analizados.

Microorganismos	Medio de cultivo ¹	Tiempo de Incubación (d)	Temperatura (°C)
Aerobios mesófilos (RAM)	Plate Count Agar (PCA)	2	37
Bacterias psicrófilas	Plate Count Agar (PCA)	7	5
Enterobacterias	Eosin Metil Blue (EMB)	2	37
Hongos y levaduras	Agar Papa Dextrosa (PD)*	5	22

¹Medios de cultivo marca Difco

*Medio acidificado con ácido láctico para llevar su pH a 3,5.

Los recuentos microbiológicos se expresaron como el logaritmo de la unidad formadora de colonias por g (log ufc g⁻¹). Los resultados obtenidos se evaluaron de acuerdo al Reglamento Sanitario de los Alimentos (Ministerio de Salud, 1997), para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados, listos para el consumo.

Color. El color de las hojas se midió con un colorímetro portátil tri-estímulo Minolta modelo CR-300, con ángulo de observador de 0°, iluminante D65, utilizando el sistema CIE La*b*. Los valores de los parámetros se expresaron como luminosidad (L), saturación (C*) y tono (Hue), los cuales se calcularon a partir de las siguientes fórmulas: Hue = arctan (b*/a*) y C* = (a*² + b*²)^{1/2} (McGuire, 1992). El color se midió en 10 hojas por bolsa, en tres puntos de la zona anversa de la hoja. En el Cuadro 3 se muestra una escala visual de color con los respectivos valores de luminosidad, croma y tono, los resultados obtenidos se asociaron a un número de dicha escala de 5 a 1 (5 = verde oscuro, 4 = verde claro, 3 = amarillo verdoso, 1 = amarillo). Cuando las hojas disminuyeron de la puntuación 3, se determinó que la calidad no era aceptable para el consumidor.

Cuadro 3. Escala gradual de color para hojas de berro.

				
5	4	3	2	1
L: 39,65	45,50	49,51	53,00	59,51
C: 20,25	25,68	28,81	33,38	35,99
Hue: 129,30	126,13	123,50	118,55	112,30

El análisis de color es frecuentemente una consideración relevante para determinar la eficacia de los tratamientos de postcosecha en las especies (Mc Guire, 1992). Además, el color es uno de los atributos más importantes para la percepción de frutas y/u hortalizas del consumidor y es también un indicador de la concentración del pigmento vegetal (Francis, 1995 citado por Gonçalves *et al.*, 2009)

Determinación de la calidad sensorial. Se utilizó el método de análisis descriptivo-cuantitativo, aplicado a un panel de 12 jueces semientrenados, se ocupó una pauta de 0 a 15 cm, donde se evaluó apariencia, intensidad de color, turgencia y sabores extraños. Para los atributos visuales se proporcionó a los evaluadores las muestras envasadas (Figura 3A) y para los atributos gustativos se proporcionó una muestra de hojas presentadas en pocillos de vidrio (Figura 3B). Todas las muestras se identificaron con un código de tres dígitos.

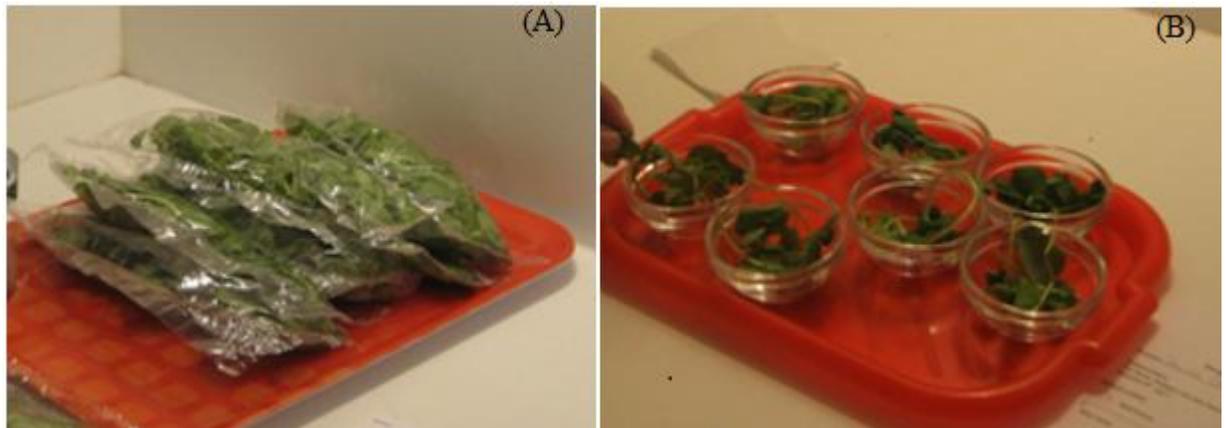


Figura 3. Presentación de las muestras en bolsas (A) para el análisis sensorial de atributos visuales y presentación de las muestras en pocillos (B) para el análisis sensorial de atributos gustativos.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA) con 7 tratamientos y 3 repeticiones. Sin embargo, en el caso de la evaluación sensorial, el diseño fue en bloque aleatorio. La unidad experimental fue la bolsa de 50 g de hojas de berros.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) a un nivel de confianza del 95%, y al existir diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó el test de comparaciones múltiples Tukey, con un nivel de significancia del 5%.

Todos los resultados se analizaron estadísticamente mediante el programa de software estadístico SAS JMP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo I

Tasa respiratoria

Todos los tratamientos disminuyeron su tasa respiratoria a lo largo del período de almacenamiento, llegando a valores mínimos después de 12 días en un rango de 24 a 35 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ (Figura 4). Los tratamientos mostraron diferencias significativas entre ellos y a lo largo del tiempo (Apéndice I, Cuadro 1).

El día del procesamiento la tasa respiratoria se encontró en un rango de 71,0 a 89,7 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, siendo más alta en los tratamientos con 0,34 y 15,14 kJ m⁻², los que tuvieron una tasa respiratoria promedio de 89,7 y 89,0 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente. La tasa respiratoria más baja la alcanzó el tratamiento realizado con NaClO (100 mg L⁻¹) con 71 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Durante el almacenamiento la tasa respiratoria disminuyó, siendo los berros tratados con 0,34, 5,16 y 20, 13 kJ m⁻² los que tuvieron una reducción en promedio de un 69% entre el primer y último día de almacenamiento. Esta fue la reducción más alta de los diferentes tratamientos evaluados, pues el resto disminuyó entre 53 y 64%.

Entre las evaluaciones del día 5 y 7 no se observaron diferencias significativas en los tratamientos, pero sí respecto al día 12. Cabe mencionar que los tratamientos con NaClO (100 mg L⁻¹) y con agua potable no mostraron diferencias significativas en el tiempo desde el día 5, en el que la tasa respiratoria se estabilizó, a diferencia de los tratamientos con aplicación de radiación UV-C, los cuales disminuyeron la tasa respiratoria el día 12 respecto a la evaluación del día 7.

En el día 12 se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo la aplicación con 5,16 y 20,13 kJ m⁻² los que culminaron con la tasa más baja, 24,4 y 25,4 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente. Los tratamientos con agua potable y 15,14 kJ m⁻² terminaron con la mayor tasa respiratoria, siendo de 34,5 y 34,2 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente.

En estudios anteriores, se encontraron diferencias significativas entre el lavado con hipoclorito de sodio y agua potable en zanahorias MPF, donde las tasas respiratorias más bajas fueron obtenidas con el lavado con hipoclorito de sodio (Cliffe-Bymes y O'Beirne, 2005; Klaiber *et al.*, 2005).

Allende *et al.*, (2007) y Martínez-Sánchez (2008) señalan que los valores altos obtenidos el día 0 podría ser resultado del estrés a causa del daño físico producido por el corte, lavado y secado (escurrimiento y centrifugado) durante la manipulación de la hortaliza en el procesamiento.

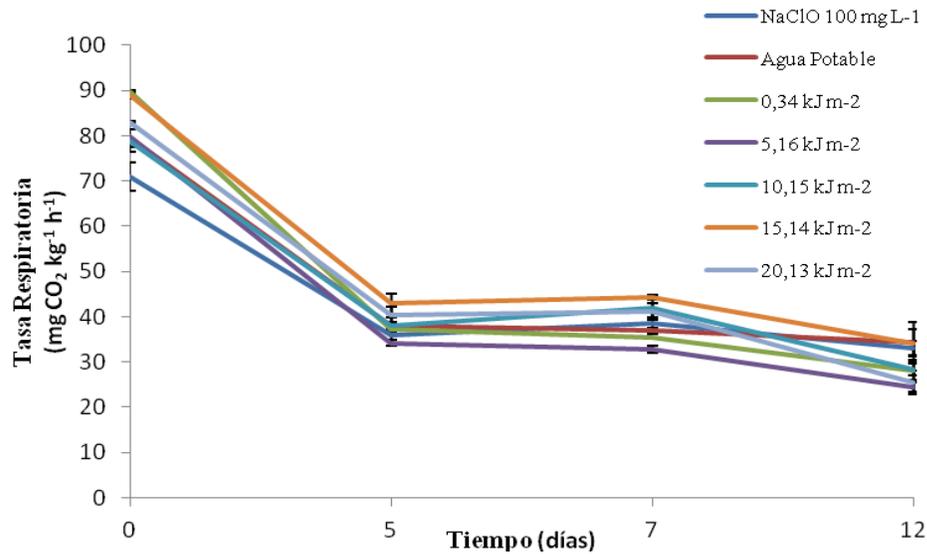


Figura 4. Tasa respiratoria de hojas de berros mínimamente procesadas tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5 °C por 12 días. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Atmósfera modificada pasiva

En la Figura 5 se observan las curvas de evolución de gases al interior de la bolsa plástica. En todos los tratamientos se observó un aumento en la concentración de CO₂, el cual logró un equilibrio y se mantuvo entre 2,9 y 4,0 % desde el día 7 en adelante. Por su parte, el O₂ no logró la estabilidad, los tratamientos con NaClO, 15,14 y 20,13 kJ m⁻² disminuyeron constantemente en el tiempo. Los tratamientos con agua potable, 0,34, 5,16 y 10,15 kJ m⁻² mostraron una disminución constante hasta el día 7 (2,9; 7,7; 7,5 y 6,8 % respectivamente) para luego aumentar su concentración el día 11 (7,3; 11; 7,9 y 13,7 % respectivamente).

El primer día de medición (día 1) no se obtuvieron diferencias significativas en la concentración de los gases para los diferentes tratamientos (Figura 5) (Apéndice I, Cuadros 2 y 3).

El CO₂ mostró diferencias significativas entre el día 0 y el resto de los días de almacenamiento en los tratamientos a excepción de la dosis de 0,34 kJ m⁻², la cual mostró diferencias significativas posterior al día 4. Los tratamientos que alcanzaron la mayor concentración de CO₂ al finalizar el almacenamiento fueron el lavado con NaClO y 20,13 kJ m⁻², siendo de 3,9% para ambos. En el transcurso del almacenamiento todos los tratamientos tuvieron un leve incremento en la concentración de CO₂, pero siempre se mantuvieron bajo 4,2%.

Los diferentes tratamientos generaron una composición similar, aunque se observaron pequeñas diferencias, posiblemente debido a las diferencias en respiración de las hojas como consecuencia del procesamiento.

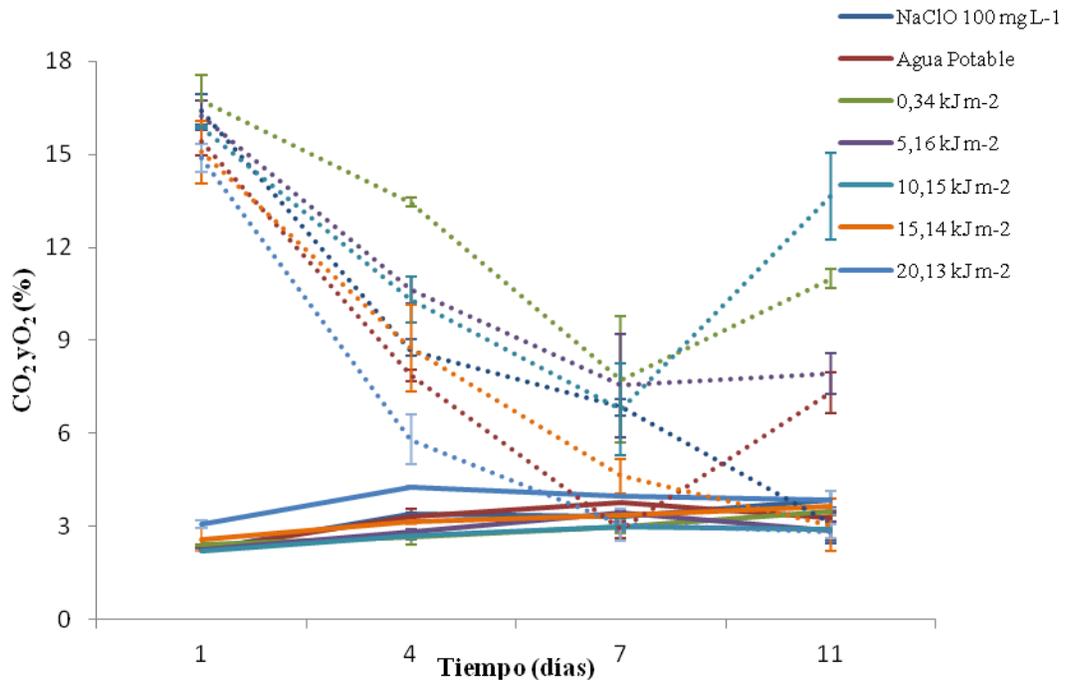


Figura 5. Evolución de la composición gaseosa CO₂ (—) y O₂ (---) al interior de las bolsa de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5 °C por 12 días. Los valores son la media ± ES (n=3).

Recuento microbiológico

En las figuras 6 y 7 se observa el conteo y la evolución en el tiempo de aerobios mesófilos (fig. 6) y enterobacterias (fig. 7).

Aerobios mesófilos. En la Figura 6 se observa el conteo y la evolución en el tiempo de aerobios mesófilos. El día 1, todos los tratamientos obtuvieron valores superiores al límite máximo permitido para aerobios mesófilos ($5,6 \log \text{ufc g}^{-1}$), según lo establecido para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaboradas, listos para el consumo por el Reglamento sanitario de los alimentos (Ministerio de Salud, 1997) (Apéndice I, Cuadro 4). El lavado con NaClO y con agua potable obtuvieron los recuentos más bajos, 5,7 y 5,9 $\log \text{ufc g}^{-1}$. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos el día 1 y 4.

Al término del almacenamiento (día 11) los tratamientos que obtuvieron los recuentos más bajos fueron los efectuados con NaClO y con 5,16 kJ m^{-2} , con 5,1 y 5,4 unidades respectivamente. Por el contrario los tratamientos que lograron los recuentos más altos, fue la dosis de 15,14 kJ m^{-2} llegando a 7,4 ufc log^{-1} (Apéndice I, Cuadro 4).

Artes-Hernandez *et al.* (2009), en espinaca mínimamente procesada tras 6 días y tratados con dosis UV-C entre 4,54 y 11,35 kJ m^{-2} , obtuvieron recuentos para aerobios mesófilos, con rangos de valores entre 6,9 y 7,5 unidades logarítmicas. Además observaron que la

carga microbiana inicial para mesófilos disminuyó en una unidad logarítmica tras la aplicación de 4,5 y 11,35 kJ m⁻² de UV-C.

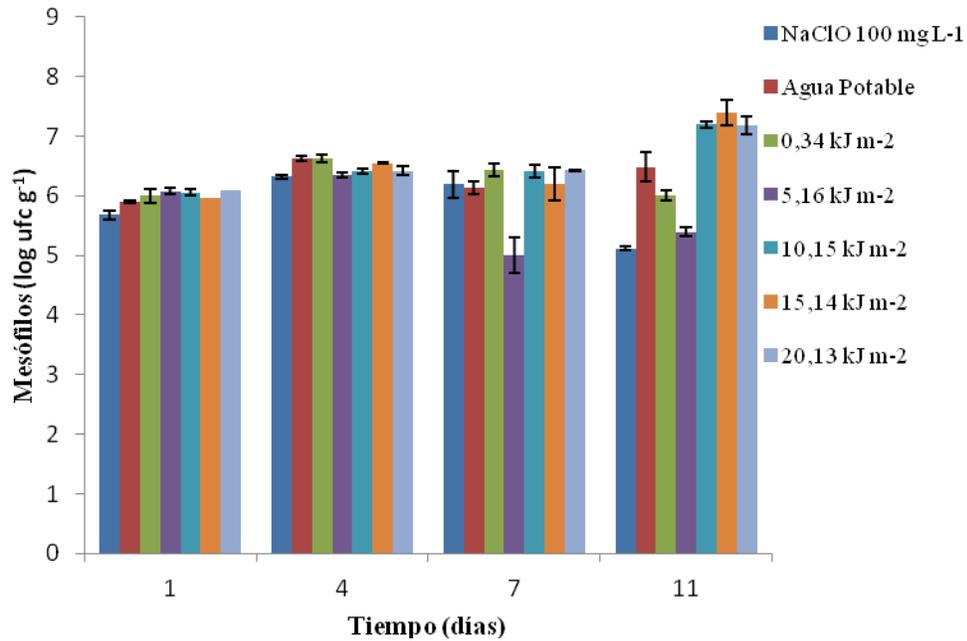


Figura 6. Recuento de bacterias mesófilas en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5 °C por 12 días. Los valores son la media ± ES (n=3).

Enterobacterias. El día 1 de la evaluación se observó diferencia significativa entre el tratamiento con NaClO, que obtuvo el menor recuento con 2,3 log ufc g⁻¹, y el resto de los tratamientos, que presentaron valores entre 3,7 a 4,4 log ufc g⁻¹ (Apéndice I, Cuadro 5).

Luego de 4 y 7 días de conservación, los tratamientos tratados con luz UV-C no presentaron diferencia significativa, presentando valores promedio de 5,2 y 5,4 log ufc g⁻¹, respectivamente. Al término del período de almacenamiento, el lavado con agua potable obtuvo el mayor recuento, 6,5 log ufc g⁻¹, presentado diferencia significativa con el resto de los tratamientos, los que se encontraron en un rango de 5,0 a 6,3 log ufc g⁻¹.

De acuerdo a las normas microbiológicas del Ministerio de Salud de Chile, para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados, listos para el consumo, el límite máximo permitido para enterobacterias es de 4,69 log ufc g⁻¹, el cual fue sobrepasado por todos los tratamientos aplicados a partir del día 4 (Figura 7).

Estos resultados son similares a los presentados por Allende y Artés (2003) después de tratar lechugas *Lollo Rosso* con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m⁻², EAM por 10 días a 5 °C. Estos autores encontraron un efecto positivo del UV-C para la reducción de

bacterias coliformes hasta el día 5, donde estas bacterias fueron significativamente disminuidas cuando se aplicó $11,35 \text{ kJ m}^{-2}$.

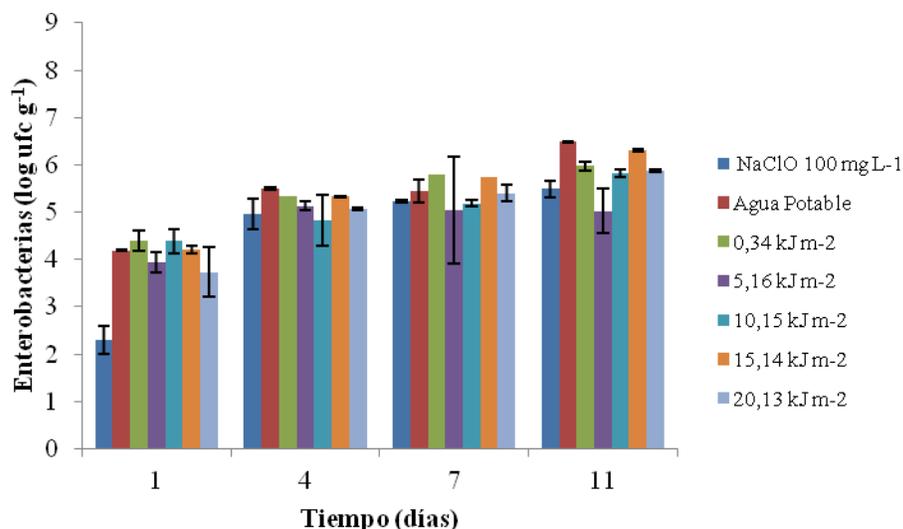


Figura 7. Recuento de bacterias enterobacterias en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 días. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Color

Luminosidad. Se observó un aumento durante el almacenamiento en el valor de luminosidad (L) en todos los tratamientos aplicados, de 42 a 45 (día 1) hasta 48 a 50 (día 11) (Figura 8), esta diferencia en el tiempo demostró ser significativa en todos los tratamientos.

El día 1 el tratamiento con $5,16 \text{ kJ m}^{-2}$ presentó diferencia significativa con el resto de los tratamientos, presentando el valor mayor, de 44,5 (Apéndice I, Cuadro 6). Sin embargo, al finalizar el almacenamiento no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, presentando un valor de 47,8 a 49,6.

En el Cuadro 3 (Sección materiales y método), se observa que un alto valor de L se relaciona con un color blanquecino tendiendo al amarillo. A lo largo de la conservación se observó igual tendencia en todos los tratamientos (Figura 8). Aparentemente un envasado en atmósfera modificada en los rangos de gases alcanzados retrasaría la pérdida de color verde.

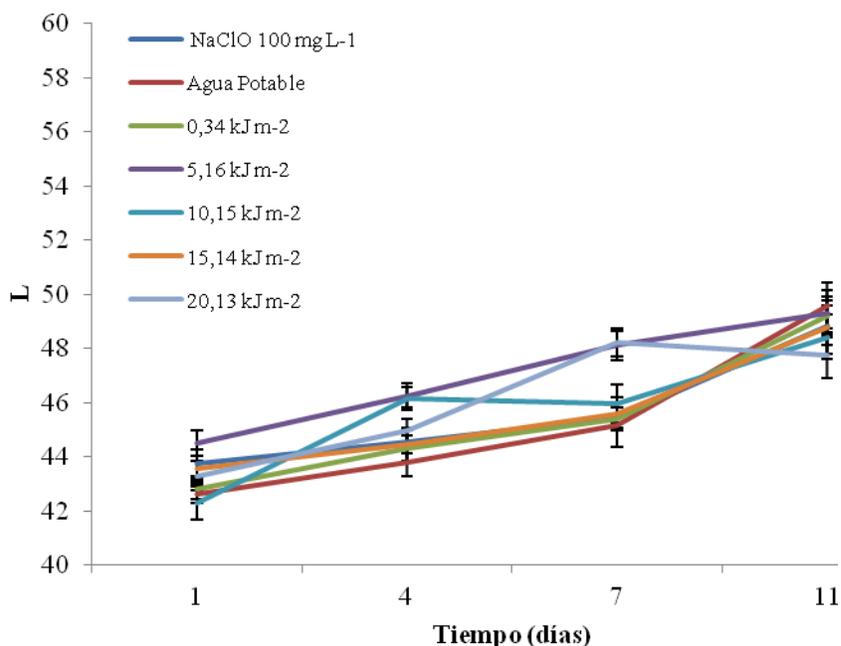


Figura 8. Evolución de la luminosidad (L) en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Saturación. La saturación (C) aumentó durante el almacenamiento de 31,9 a 33,9 (día 1) hasta 36,8 a 40,4 (día 11) (Figura 9), observándose diferencias significativas en el tiempo en todos los tratamientos aplicados. Entre tratamientos solo se observaron diferencias significativas al finalizar el periodo de almacenamiento (día 11) (Apéndice I, Cuadro 7). El tratamiento que alcanzó mayor saturación fue el lavado con agua potable con 40,4 unidades y el menor valor se observó en las hojas de berros tratadas con 20,13 kJ m⁻², siendo de 36,8, lo cual coincide con la tendencia mostrada en el parámetro L.

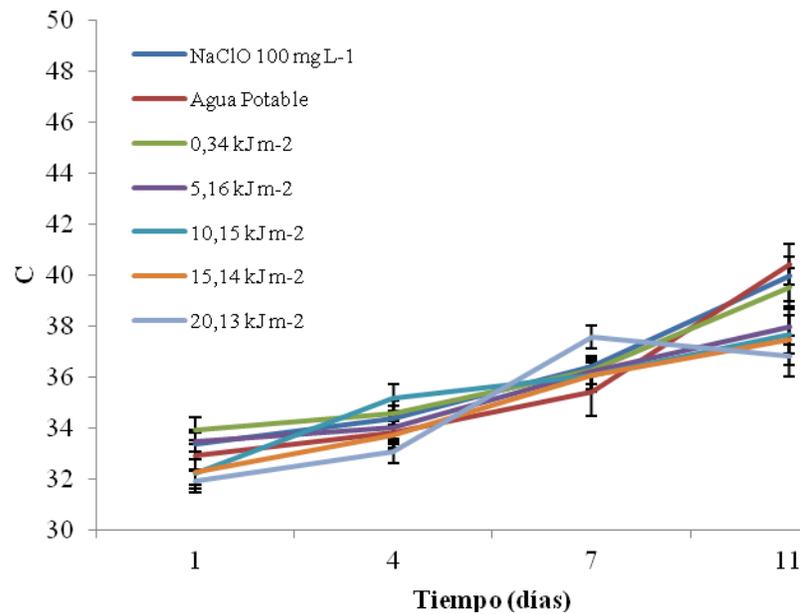


Figura 9. Evolución de la saturación del color (C) en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Tono. En todos los tratamientos hubo una disminución en Hue (Figura 10), sin encontrarse diferencias significativas entre ellos, a excepción del día 7 (Apéndice I, Cuadro 8). Así como también ocurrió en los parámetros anteriores, en el transcurso del tiempo se generaron diferencias significativas en todos los tratamientos evaluados, observándose una disminución de 126,2 a 127,3 (día 1) a un rango de 121,4 a 122,9 (día 11).

Los tratamientos que obtuvieron mayores reducciones fueron el lavado con agua potable, llegando el día 13 a un valor de 121,4 y la dosis 10,15 kJ m⁻², con un valor de 121,7. Estos resultados difieren de los tratamientos 5,16 y 15,14 kJ m⁻², los que mostraron una menor reducción, llegando el día 11 a valores de 122,7 y 122,9 respectivamente.

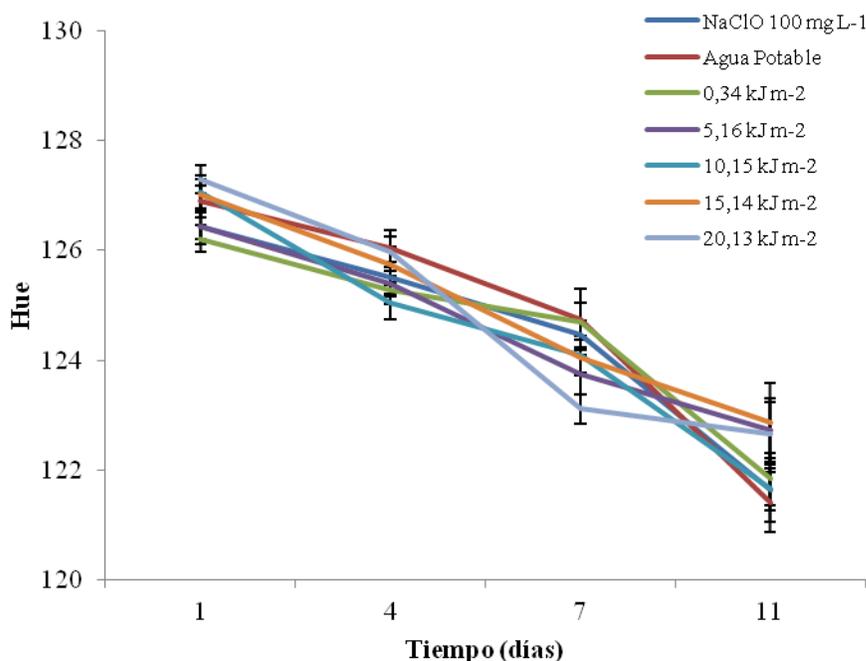


Figura 10. Evolución del Tono (Hue) en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Los berros lavados con agua potable alcanzaron el valor más extremo en todos los parámetros analizados de color (L=49,6; C=40,4; hue=121,4), lo que significaría una mayor pérdida de color.

En este estudio el color verde tendió a disminuir de la misma manera en todas las hojas de berros sometidas a los diferentes tratamientos, similar a lo experimentado por Martínez-Sánchez *et al.* (2006b) en rúcula salvaje lavada con distintos sanitizantes.

Koukounaras *et al.* (2007) observaron en hojas de rúcula almacenada a 10 °C por 10 días un aumento significativo del amarillamiento, un aumento del parámetro L y croma, así como también una disminución del parámetro Hue y de la concentración de clorofilas. Loiza y Cantwell (1997) observaron en cilantro almacenado a 5 °C por 14 días, un a disminución del verdor y de Hue, por el contrario los valores de L y croma se incrementaron.

Evaluación sensorial

Apariencia. La Figura 11A muestra el efecto de diferentes tratamientos desinfectantes sobre la percepción de la apariencia de hojas de berros almacenadas a 5 °C bajo atmósfera modificada. En todos los tratamientos realizados hubo una disminución de este atributo en el tiempo, sin encontrarse diferencia significativa entre ellos.

El día 1 todos los tratamientos se evaluaron con una apariencia de 11,5 a 12,1, siendo los tratamientos mejor evaluados el lavado con hipoclorito de sodio y los con radiación UV-C de 0,34 y 15,14 kJ m⁻².

Al día 7, el tratamiento con agua potable, 5,16 y 15,14 kJ m⁻² disminuyeron su puntuación a 7,3, 7,7 y 7,6 respectivamente, siendo los tratamientos con menor puntuación. Para este día todos los tratamientos se encuentran sobre el límite de aceptabilidad, a excepción del tratamiento con agua potable, con un puntaje de 7,3.

Intensidad de color. En este parámetro los tratamientos no mostraron diferencia significativa entre ellos durante todo el período de almacenamiento.

Desde el inicio del almacenamiento hasta el día 7 las hojas de berro se encontraron en un rango de 8,6 a 10,9 para todos los tratamientos. El día 11 todos los tratamientos mostraron la misma tendencia al ser evaluados, observándose un marcado descenso de este parámetro (Figura 11 B), las puntuaciones fluctuaron entre 5,8 a 6,7.

Al igual que en la medición del colorímetro, no hubo diferencia significativa entre tratamientos, ambas mediciones mostraron una tendencia similar durante el periodo de almacenamiento. Sin embargo en esta evaluación el panel no observó un cambio en la intensidad del color verde hasta el último día de evaluación.

Turgencia. Este atributo disminuyó en el tiempo en todos los tratamientos aplicados (Figura 11 C).

Se obtuvieron diferencias significativas (Apéndice I, Cuadro 9) entre tratamientos los días 7 y 11 de almacenamiento, la menor puntuación la obtuvo 20,13 kJ m⁻² para ambos días con puntuaciones de 7,7 y 5,7 respectivamente. Esto podría deberse a que una mayor dosis de radiación UV-C dañó los tejidos vegetales.

El tratamiento que presentó hojas más turgentes fue el lavado con hipoclorito de sodio (100mg/L) que comenzó con 11,6 unidades y terminó con 9,3 el día 11 (Apéndice I, Cuadro 9).

Sabores extraños. Este parámetro presentó una tendencia similar para todos los tratamientos durante el almacenamiento hasta el día 7 (Figura 11 D), donde no se observaron diferencias significativas entre tratamientos y tiempo de almacenamiento (Apéndice I, Cuadro 9).

El día 11 el tratamiento de 20,13 kJ m⁻² mostró la mayor puntuación, presentando diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

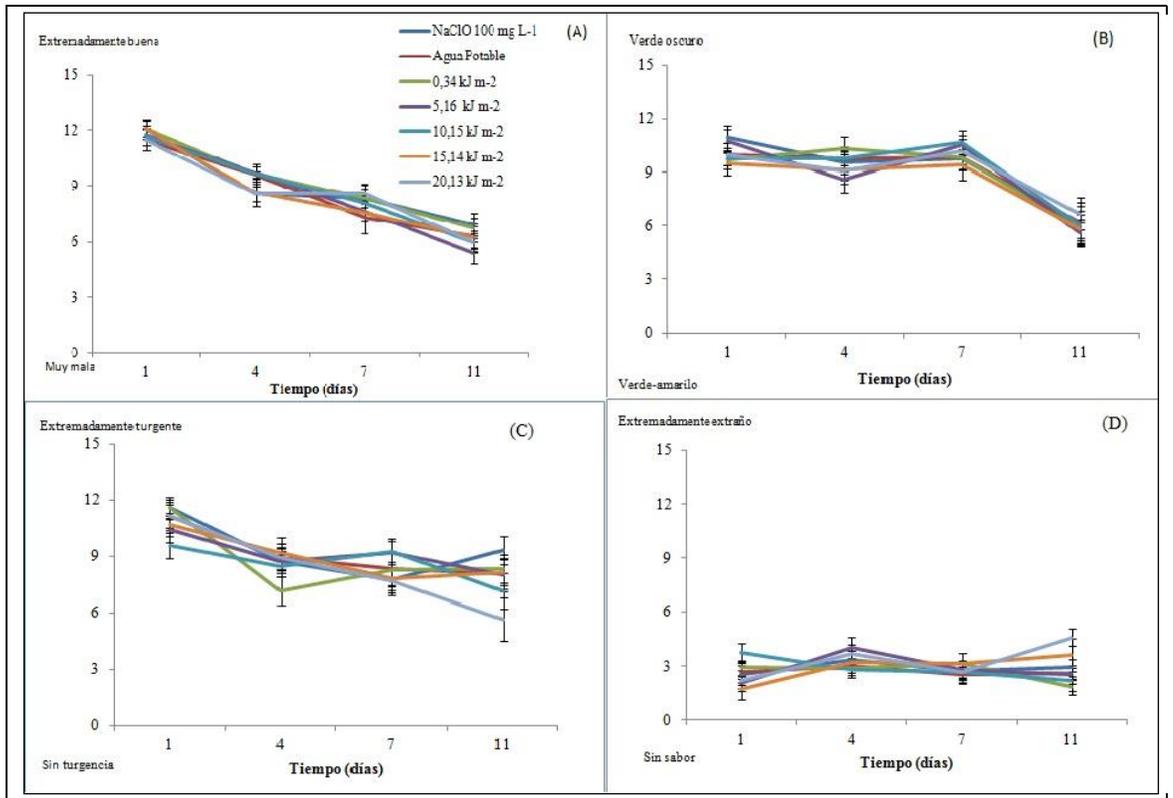


Figura 11. Efecto de diferentes lavados y dosis de radiación UV-C sobre los atributos sensoriales: Apariencia (A), intensidad de color (B), turgencia (C) y sabores extraños (D). Los valores son la media \pm ES (n=14).

Las evaluaciones de apariencia e intensidad de color permitirían asignar para las hojas de berros una vida útil de 7 días conservadas a 5 °C. Piagentini *et al.*, (2005) al trabajar con lechuga iceberg, romana y achicoria, lavadas con hipoclorito de sodio y conservadas por 12 días a entre 1,7 a 20,3 °C, observaron que sabores extraños y color contribuían en el puntaje de apariencia, favoreciéndolo. Además, observaron que este último era el parámetro que más rápido cambiaba su puntuación.

Ensayo II

Tasa respiratoria

En todos los tratamientos se observó la máxima producción de CO₂, entre 51,6 y 67,6 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, inmediatamente después del procesamiento, y tras 1 día de almacenamiento disminuyó en un 50% aproximadamente (Figura 12), mostrando diferencias significativas en el tiempo entre el día 0 (medición después de 6 horas del procesamiento) y el resto de los días de almacenamiento (Apéndice II, Cuadro 1). Martínez-Sánchez (2008) describió que la respiración de las hortalizas de hoja puede verse alterada, de tal forma que aumenta significativamente tras un estrés, como pueden ser algunas de las etapas del procesado, como el cortado y lavado, entre otras.

Durante el almacenamiento a 5 °C, los tratamientos presentaron una tendencia similar, llegando a un equilibrio después de 7 días en un rango de 20 a 32 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ (Figura 12). Resultados similares han sido descritos, encontrándose que la respiración de rúcula cultivada, rúcula salvaje, muzina y berro conservadas a 4 °C se iguala tras 1 día de conservación independiente del lavado realizado, agua a 8 °C, agua ozonizada activada con UV-C o choque térmico (agua a 50 °C) (Martínez-Sánchez, 2008).

Al evaluar cada uno de los tratamientos se observó que la dosis más alta, 20,13 kJ m⁻², tuvo mayor efecto, reduciendo la respiración en un 56% el primer día y manteniendo los valores más bajos durante los 12 días de almacenamiento, en comparación al resto de los tratamientos (Figura 12). Al tener una baja respiración, se disminuye la actividad metabólica, se reduce la actividad catalítica y los procesos degradativos, por lo tanto se esperaría que la vida útil del vegetal se vea prolongada.

Sin embargo, en experiencias anteriores se observó que la tasa respiratoria de lechuga “Lollo rosso” mínimamente procesada no tratada fue menor de 21,1 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ mientras que la tratada con radiación UV-C (2,44 kJ m⁻²) alcanzó 31,8 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹. Además, cuando la dosis de radiación se incrementó, se encontró un aumento significativo de la tasa respiratoria, 31,8, 38,9 y 41,8 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ con 2,44, 4,06 y 8,14 kJ m⁻² respectivamente (Allende y Artes, 2003). Artes-Hernández *et al.* (2009) también encontraron un aumento significativo de la respiración de hojas de espinaca “baby” tratada con radiación UV-C respecto a las no tratadas, siendo de 5 a 6 veces mayor.

En esta experiencia el menor efecto se observó tras la aplicación de la dosis 5,16 kJ m⁻², la cual disminuyó la tasa de respiración sólo en un 38% y mantuvo los valores más altos durante todos los días de almacenamiento, superiores al resto de los tratamientos aplicados.

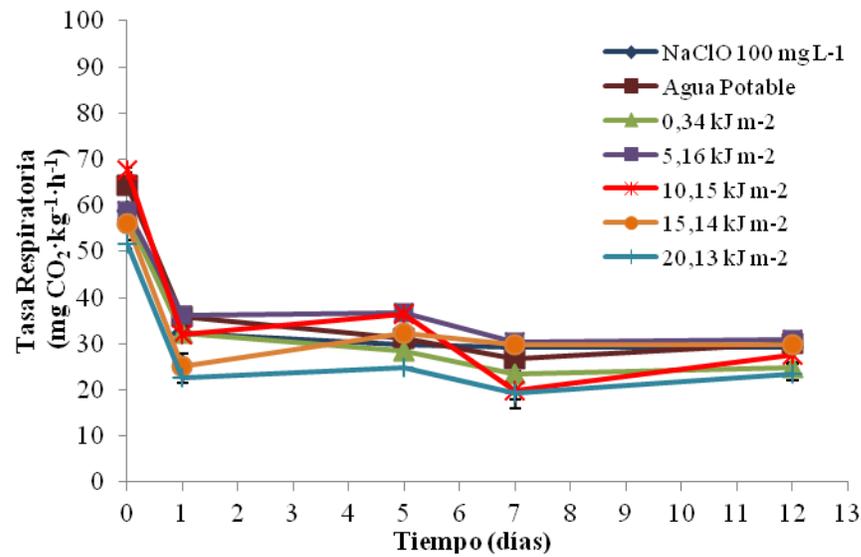


Figura 12. Tasa respiratoria de hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5 °C por 12 días. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Atmósfera modificada pasiva

Al cuarto día de conservación se observó un aumento en la concentración de CO₂, alcanzando 3 – 4%, manteniéndose dentro de estos valores hasta el final de la conservación (Apéndice II, Cuadro 2). Por otro lado, la concentración de O₂ disminuyó constantemente durante el almacenamiento (Figura 13), llegando a 2 – 4% de O₂ (Apéndice II, Cuadro 3). Al disminuir las concentraciones de O₂ se reduce la respiración en forma proporcional a este descenso, hasta un límite que suele variar entre 1 y 3% (Escalona *et al*, 2008).

Martínez-Sánchez (2008) observó que la atmósfera modificada con bajo O₂ y alto CO₂ redujo la vida útil de rúcula salvaje, limitándola en una semana. Esto se explicó debido a la extremadamente baja concentración de O₂ alcanzado, durante la conservación.

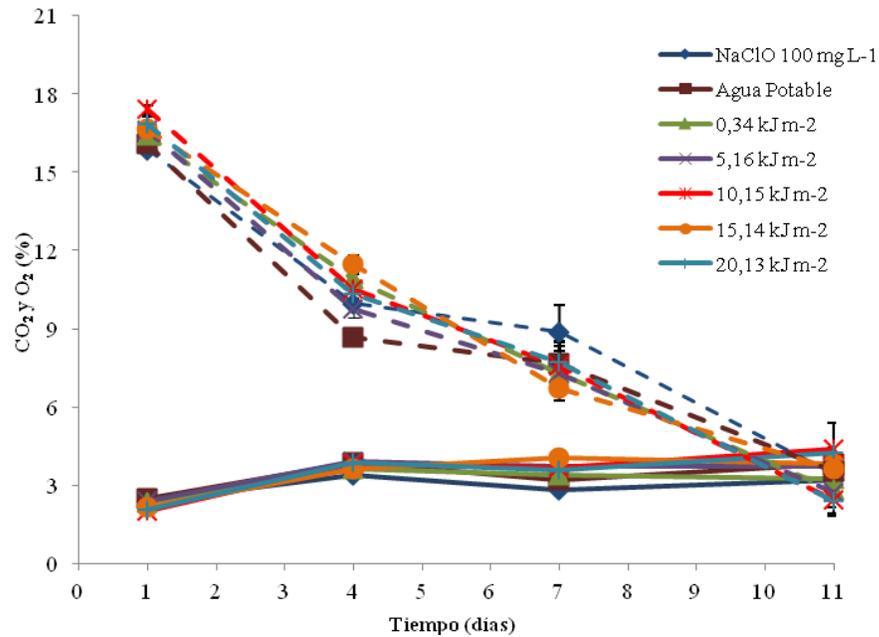


Figura 13. Evolución de la composición gaseosa al interior de las muestras: O₂ (---) y CO₂ (—), conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media ± ES (n=3).

Los diferentes tratamientos aplicados generaron una composición gaseosa similar al interior de las bolsas (Figura 13), observándose diferencias significativas sólo en los valores de CO₂ (Apéndice II, Cuadro 2). Posiblemente debido a la distinta respiración de las muestras como consecuencia de los diferentes tratamientos. Los tratamientos con dosis de 10,15 y 20,13 kJ m⁻² presentaron una alta concentración de CO₂, respecto al resto de los tratamientos, lo que no se correlaciona con los resultados obtenidos, en donde la dosis 20,13 kJ m⁻² presentó la concentración más baja de CO₂ al finalizar el almacenamiento. El lavado con NaClO resultó ser eficiente en la disminución de la tasa respiratoria de hojas de berro conservadas bajo atmósfera modificada. En estudios anteriores de lechuga “Red Oak Leaf” tratadas con radiación UV-C, se observó que la composición gaseosa se modificó según la dosis aplicada, altas dosis de radiación dieron lugar a una mayor concentración de CO₂ y una menor concentración de O₂ (Allende *et al.*, 2006)

Ospina *et al.* (2010), trabajando con hojas de berros tratadas con NaClO y envasadas en polietileno de baja permeabilidad, obtuvieron una concentración de 12% CO₂ y 6% O₂ al interior del envase. Esta atmósfera mantuvo una apariencia aceptable de los brotes aunque no logró retardar el crecimiento microbiano más allá de los 5 días de almacenamiento. Aunque el envase posee una permeabilidad diferente a la utilizada en esta experiencia, los resultados microbiológicos y sensoriales fueron similares, por lo que se evidencia la importancia de complementar la aplicación de atmósfera modificada con un sanitizante adecuado.

Ballantyne *et al.*, (1988) (citado por Watada y Qi, 1999) observaron que el uso de atmósferas con 1% O₂ y 12% CO₂ retardan el pardeamiento de lechuga por 2 semanas, mientras que en aire a 5 °C se pardeó en 8 días. En esta experiencia no se observó pardeamiento de las hojas en ninguno de los tratamientos.

Recuento microbiológico

Aerobios mesófilos. La materia prima tuvo recuentos de aerobios mesófilos de 6,6 log ufc g⁻¹. De acuerdo a las normas microbiológicas del Ministerio de Salud de Chile, para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados listos para el consumo, se consideran rechazables los productos que sobrepasan 5,69 log ufc g⁻¹ (Apéndice II, Cuadro 4), sin embargo la materia prima ya presentaba recuentos de 6,57 log ufc g⁻¹ al llegar desde campo.

El día 1, los tratamientos 10,15 y 15,14 kJ m⁻² fueron los más efectivos, reduciendo en 2,3 y 2,1 unidades respectivamente, presentando diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

El día 4 y 7 mantuvieron valores similares, sin diferencia significativa en el tiempo, pero sí entre tratamientos. Los tratamientos NaClO, 5,16; 10,15 y 15,14 kJ m⁻² obtuvieron un recuento bajo, de 5,3 a 5,4 unidades, a diferencia del resto de los tratamientos, los que alcanzaron 6,0 a 6,4 unidades (Apéndice II, Cuadro 4).

El día 11 la carga microbiológica de hojas de berros aumentó en todos los tratamientos sobrepasando el límite máximo permitido por el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA), establecido en 5,69 log ufc g⁻¹.

La dosis 20,13 kJ m⁻² fue el único tratamiento que mostró desde el día 1 un valor de 6,1 unidades, mayor al límite aceptado para consumo establecido por el RSA (Figura 14), catalogándose como “rechazable” (Anexo II).

En discrepancia con la norma chilena, Deverebe (1996, citado por Allende *et al.*, 2004; Vandekinderen *et al.*, 2009) propuso que el límite microbiano para bacterias mesófilas es de 8 log ufc g⁻¹; según este autor, los berros fueron aceptables el día 11 de almacenamiento.

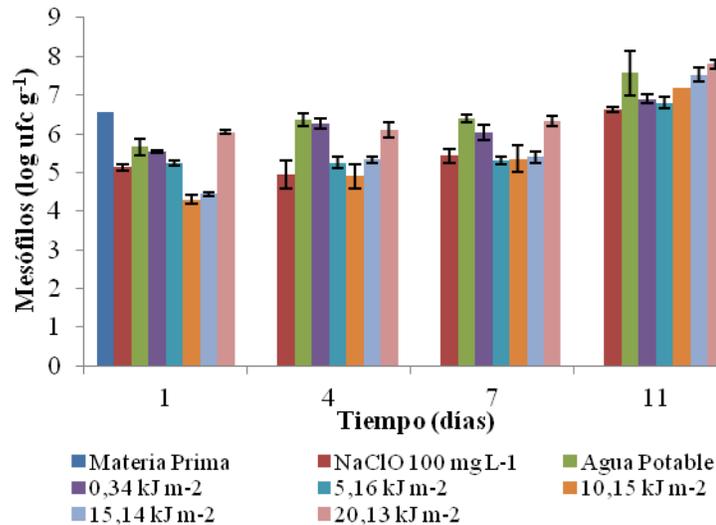


Figura 14. Recuento de aerobios mesófilos en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Aún así los valores presentados son considerablemente menores a los registrados por Allende *et al.*, (2004), en espinaca “baby” tratada con hipoclorito de sodio conservadas bajo atmósfera modificada pasiva y con alto oxígeno, donde los valores iniciales fueron de 7,2 log ufc g⁻¹ y aumentaron a más de 9 log ufc g⁻¹ después de 12 días a 5 °C.

Enterobacterias. En la Figura 15 se presentan los recuentos de enterobacterias en hojas de berros con diferentes tratamientos, donde se observó que los recuentos aumentaron durante el almacenamiento.

La materia prima presentó una carga microbiana de 6 log ufc g⁻¹, tras aplicar los tratamientos se obtuvieron valores entre 4,6 y 5,7 log ufc g⁻¹ (Apéndice II, Cuadro 5). El menor valor se obtuvo con NaClO, siendo de 4,6 log ufc g⁻¹. El día 1 los tratamientos con agua potable y 20,13 kJ m⁻² obtuvieron los mayores valores, 5,6 y 5,7 unidades logarítmicas respectivamente, presentando diferencias significativas con el resto de los tratamientos (Apéndice II, Cuadro 5).

Todos los tratamientos presentaron diferencias significativas en el tiempo, siendo las dosis 15,14 y 20,13 kJ m⁻² las que presentaron mayor diferencia, aumentando a partir del día 4, alcanzando altos valores (7,3 y 7,6 log ufc g⁻¹ respectivamente). El menor valor lo obtuvo el tratamiento 5,16 kJ m⁻², similar a NaClO, con valores de 6,3 y 6,5 unidades respectivamente.

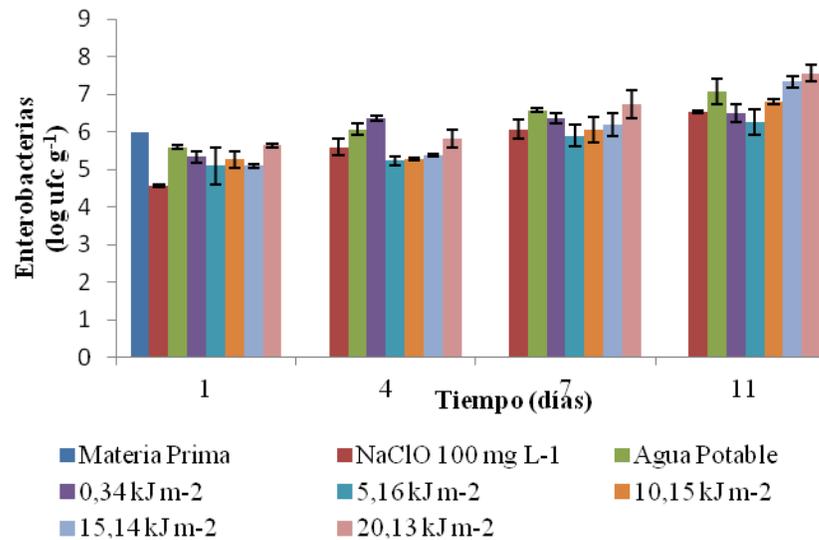


Figura 15. Recuento de enterobacterias en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

En un estudio similar a éste, se observó que en lechuga “red oak leaf” MPF la radiación UV-C aplicada por ambos lados, con dosis de 1,18; 2,37 y 7,11 kJ m⁻², es eficaz para reducir la microflora natural causante del deterioro tras 10 días a 5 °C, aunque 7,11 kJ m⁻² provocó ablandamiento y pardeamiento de tejidos tras 7 días a 5°C (Allende *et al.*, 2006)

Sgroppo y Sosa (2009) observaron que los tratamientos con radiación UV-C con dosis de 2,08 y 3,14 kJ m⁻² aplicados a zapallo anco cubeteado fueron efectivos en el control de la carga microbiana y la retención de las características sensoriales del producto.

Aerobios psicrófilos. En la Figura 16 se observa que todos los tratamientos lograron disminuir la carga microbiana de aerobios psicrófilos, siendo los tratamientos más efectivos las dosis entre 0,34 y 15,14 kJ m⁻², reduciendo la carga microbiana en 3 unidades logarítmicas aproximadamente. La aplicación de 20,13 kJ m⁻² redujo la carga inicial en 1,5 log ufc g⁻¹ (Figura 16) (Apéndice II, Cuadro 6); de igual manera que en aerobios mesófilos y enterobacterias, esta dosis fue la que menos redujo la carga microbiana.

En las mediciones posteriores aumentó la carga microbiana y el día 4 todos los tratamientos alcanzaron una carga microbiana similar, lo que mantuvo un crecimiento parecido hasta el final de la conservación en todos los tratamientos evaluados (Figura 16) (Apéndice II, Cuadro 6).

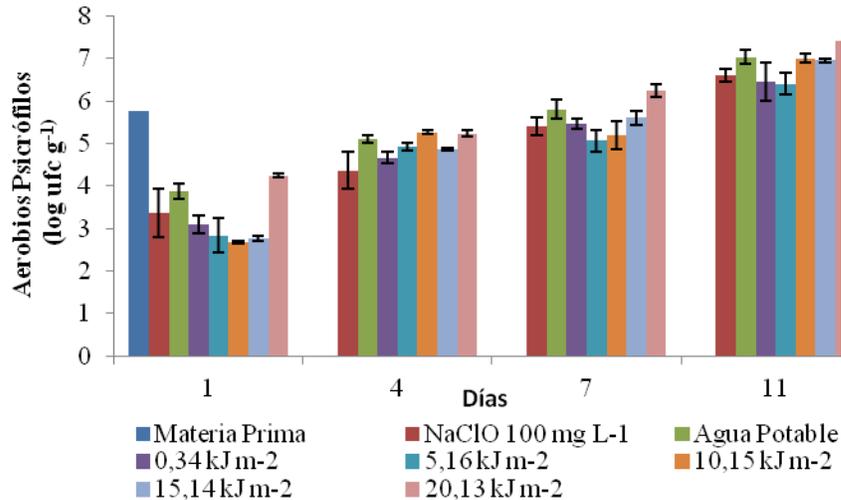


Figura 16. Recuento de aerobios psicrófilos en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Artés-Hernández et al., (2009) observaron cómo a pesar que 4,54; 7,94 y 11,35 kJ m⁻² de radiación UV-C redujo la carga inicial de microorganismos mesófilos y psicrófilos en espinaca MPF, no se apreció un efecto residual en su crecimiento tras 6 y 13 días a 5 °C.

En este estudio, el recuento inicial obtenido en bacterias psicrófilas fue más bajo que el descrito en bacterias mesófilas. No obstante, el crecimiento de ambas poblaciones microbianas fue similar durante la conservación. Otros estudios también han descrito resultados de estas bacterias en los que tienden a coincidir (Beuchat y Brackett, 1990 citado en Martínez-Sánchez, 2008). Con estos resultados se puede decir que la radiación actúa igualmente para bacterias mesófilas y psicrófilas, a diferencia de las enterobacterias, por lo tanto es más eficiente para cierto tipo de microorganismos.

Hongos. En la materia prima se registró un recuento de $1,24 \pm 0,11$ log ufc g⁻¹. Luego de la aplicación de los tratamientos se obtuvieron reducciones de 0,24 a 1,24 unidades (Figura 17) y no se observó un crecimiento posterior durante el almacenamiento. Ninguno de los tratamientos superó las 2 unidades logarítmicas en todo el periodo de conservación (datos no mostrados).

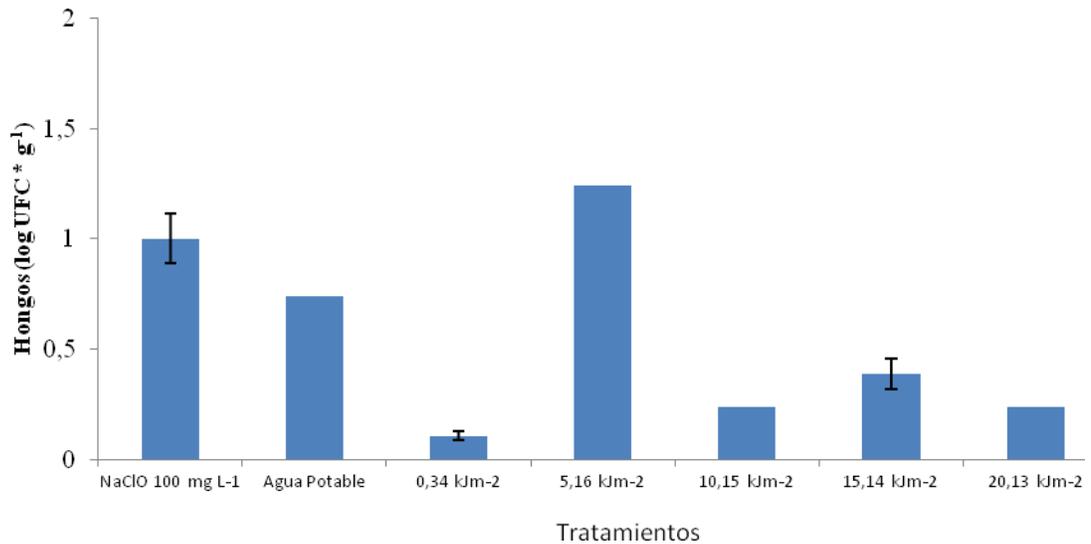


Figura 17. Reducción de hongos en hojas de berros mínimamente procesadas después de los diferentes tratamientos de desinfección. Los valores corresponden a la media \pm error estándar (n=3).

En aerobios mesófilos y enterobacterias se obtuvieron reducciones similares (entre 4,6 y 5,7 log ufc g⁻¹) con la aplicación de 100 mg de NaClO y las diferentes dosis de radiación UV-C, mientras que en aerobios psicófilos la reducción fue mayor (entre 2,7 y 4,3 log ufc g⁻¹), sin embargo para todos los casos estas reducciones no se mantuvieron a lo largo del tiempo.

Todos los tratamientos mostraron elevados recuentos microbianos en aerobios mesófilos, enterobacterias y psicófilos en el día 11 de almacenamiento, lo que demuestra que la vida útil del berro es de 7 días conservados a 5 °C.

Color

Luminosidad. En todos los tratamientos realizados hubo un aumento de este parámetro y se muestran diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento (Figura 18) (Apéndice II, Cuadro 7).

El día 1 se observaron valores promedio entre 42 y 45 y valores promedio entre 49 y 51 luego de 11 días de almacenamiento. Este aumento se tradujo en un aclaramiento de las hojas, tomando un color amarillo.

El tratamiento con hipoclorito de sodio presentó valores de L significativamente mayores a los obtenidos por los tratamientos con radiación UV-C al finalizar el almacenamiento (51,4). En cambio los tratamientos que presentaron los menores valores de L fueron las dosis de 20,13 kJ m⁻² con 48,5; 10,15 kJ m⁻² con 49,1 y 15,14 kJ m⁻² con 49,7.

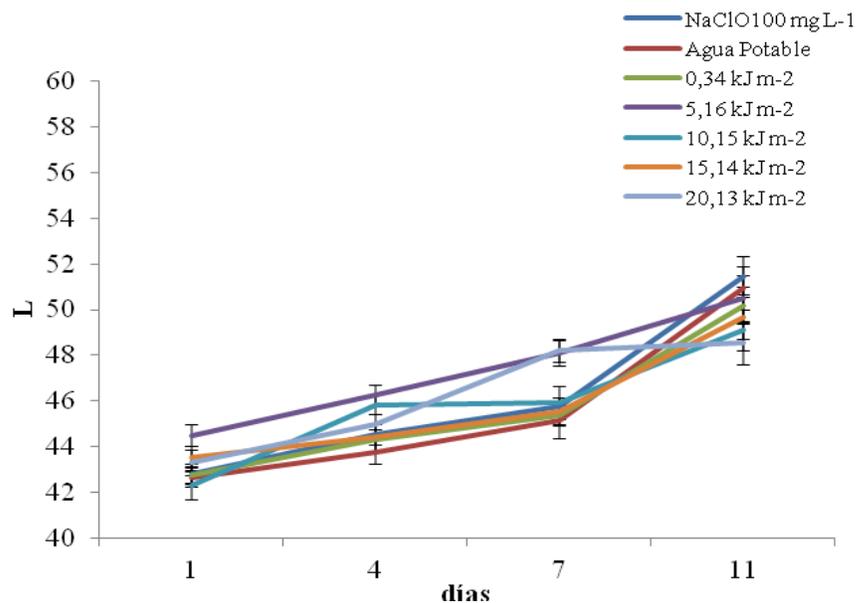


Figura 18. Evolución de la luminosidad en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Saturación. En la Figura 19 se puede observar el aumento de la saturación en los distintos tratamientos durante el almacenamiento a 5 °C. Los valores se mantuvieron en un rango de 32 a 36 durante 7 días, sin diferencias significativas entre tratamientos (Apendice II, Cuadro 8). Tras 11 días se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el lavado con agua potable el que presentó un valor superior al resto (41), observándose un color más intenso. Por otro lado el tratamiento 20,13 kJ m⁻² presentó, el menor valor de 36,8 (Figura 19).

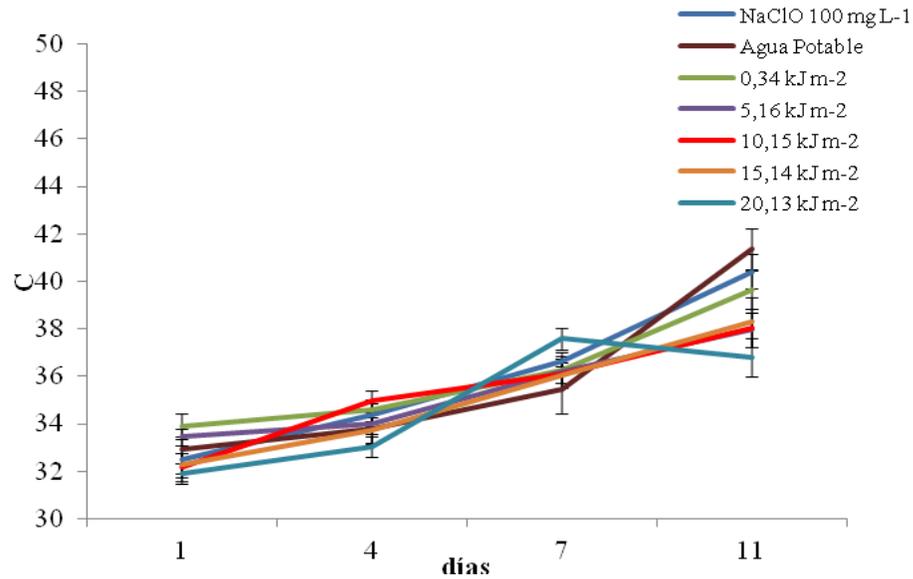


Figura 19. Evolución de saturación (C) en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Tono. El día uno se observó un valor promedio de 126,8 y al finalizar el almacenamiento un valor promedio de 120,9. Esta disminución del tono se traduce como una disminución de la intensidad del color verde y aumento del amarillo.

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos el día 7 y 11 de almacenamiento. En todos los tratamientos hubo una disminución en hue durante el almacenamiento, observándose diferencias significativas entre los tratamientos (Apéndice II, Cuadro 9). Los lavados con agua potable y NaClO alcanzaron el menor tono (119,6 y 119,8) respecto al resto. La dosis 20,13 kJ m⁻² finalizaron el almacenamiento con el valor de 122,7, significativamente mayor que los otros tratamientos.

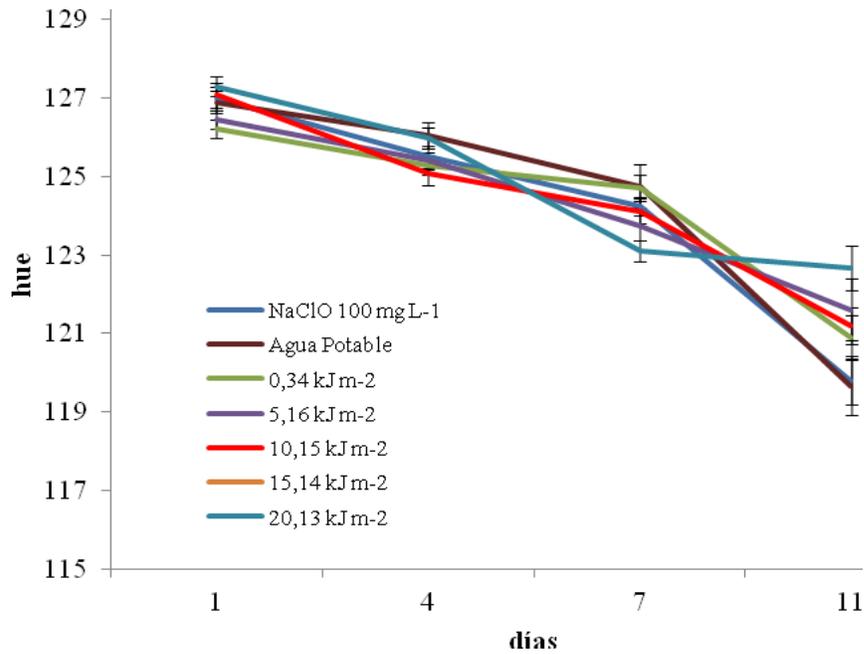


Figura 20. Evolución del tono en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección conservadas bajo atmósfera modificada durante 11 días a 5 °C. Los valores son la media \pm ES (n=3).

Todos los tratamientos tendieron a disminuir el verdor de las hojas de la misma manera (Figura 20), siendo la dosis más alta de radiación UV-C (20,13 kJ m⁻²) la que obtuvo los valores más bajos de L y C y el más alto hue. Esta respuesta pondría de manifiesto que altas dosis de UV-C mantienen la intensidad del color. Al contrario, los lavados con cloro y agua alcanzaron los valores más altos de luminosidad y saturación y un menor tono, observándose un color que tendió al amarillo.

Artés-Hernández *et al.* (2009), observaron al final del almacenamiento que dosis de 7,94 y 11,35 kJ m⁻² disminuyeron significativamente el valor de L, hasta en un 15% del valor inicial, esto se explicó debido al daño celular causado por estas dosis. Sin embargo no encontraron diferencias significativas al evaluar L y C después de 13 días de almacenamiento a 5 °C.

En la Figura 21 se observa la disminución del verdor en hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección.

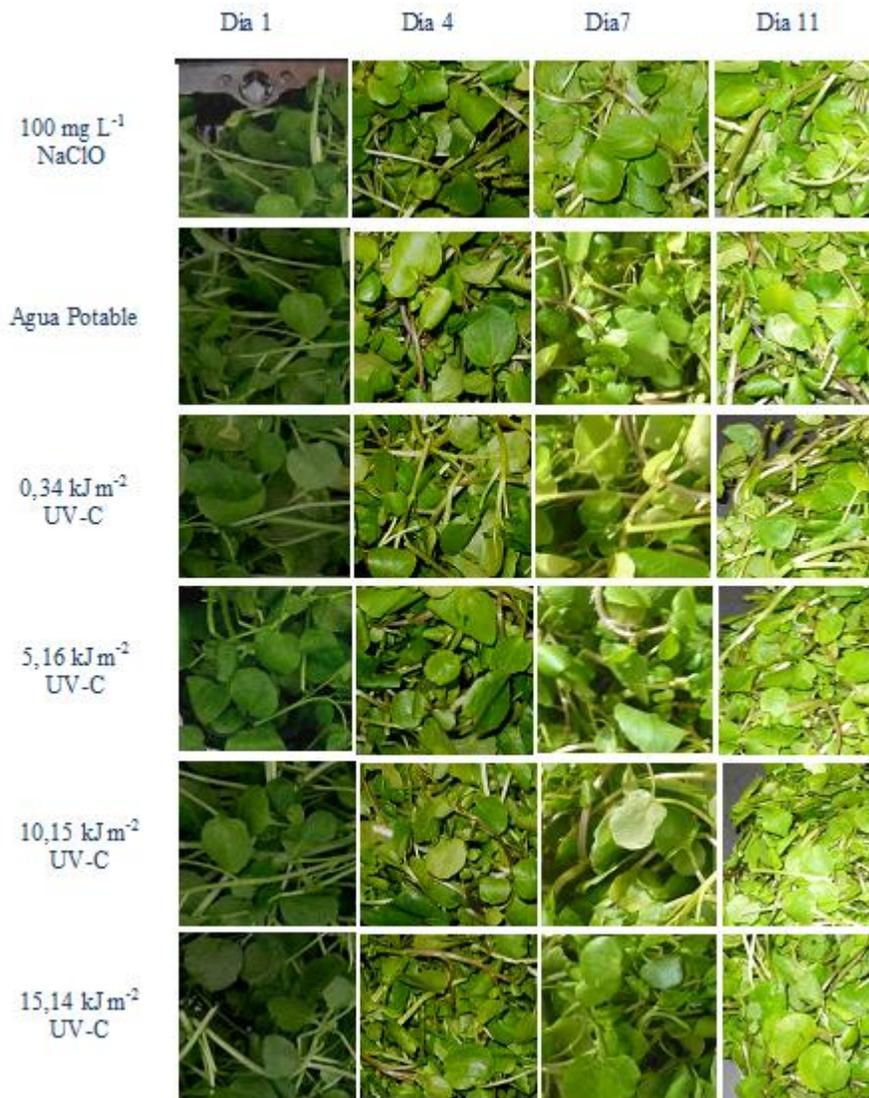


Figura 21. Variación del color de hojas de berros con diferentes tratamientos de desinfección almacenadas bajo atmósfera modificada a 5 °C.

Evaluación sensorial

Apariencia. El Apéndice II, Cuadro 10 muestra los valores de apariencia obtenidos por los distintos tratamientos durante el almacenamiento bajo atmósfera modificada pasiva a 5 °C.

El primer día de evaluación los tratamientos alcanzaron puntuaciones entre 11,3 y 12,5, sin diferencias significativas entre tratamientos ninguno de los días de evaluación. El día 11 todos los tratamientos variaron su puntaje entre 5,3 a 6,8, siendo el mejor evaluado fue el NaClO.

En la figura 22A se observa que todos los tratamientos mostraron la misma tendencia, mostrando una disminución de este parámetro a lo largo del tiempo de almacenamiento, el día 11 todos los tratamientos se encontraron por debajo del límite comercial aceptable.

Intensidad del color verde. Todos los tratamientos mostraron un comportamiento similar durante el periodo de almacenamiento (Figura 22B). Durante la vida útil del producto, este parámetro disminuyó de un rango de 9,4 a 10,8 a un rango 5,5 a 6,6. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ninguno de los días de evaluación (Apéndice II, Cuadro 10), dejando en evidencia que hubo una leve pérdida del color, lo que podría estar relacionado con bajas concentraciones de O₂, al igual que en el Ensayo I.

Entre los días 1 y 7 los tratamientos fueron evaluados de forma similar, obteniéndose puntajes promedios de 10 y 9,8 respectivamente. El día 11 existió una diferencia significativa respecto a los días anteriores, donde se observó una notoria disminución de la percepción de la intensidad del color, evaluándose con un puntaje promedio de 5,9.

Estos datos concuerdan con los valores dados por el colorímetro, donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí en el transcurso del tiempo de almacenamiento, evidenciándose la pérdida del color verde, aunque el colorímetro registró una pérdida paulatina del color.

El color se ha considerado con un papel clave en la preferencia y aceptabilidad de los alimentos. Además, el color es uno de los principales atributos junto con la textura, que caracteriza la frescura de la mayoría de los vegetales (Bolin and Huxoll 1991a citado por Rico *et al.*, 2007)

Turgencia. Como se puede observar en la Figura 22 C, este atributo disminuyó en el tiempo en forma similar en todos los tratamientos, sin diferencias significativas entre ellos (Apéndice II, Cuadro 10). La turgencia no se vio afectada por los diferentes tratamientos, pero sí por el tiempo, presentando diferencias significativas hasta el día 7 de almacenamiento.

El día 1 se alcanzó un puntaje entre un rango de 10,5 a 11,6 (Apéndice II, Cuadro 10) sin diferencias significativas, siendo la dosis 0,34 kJ m⁻² la que se evaluó con el puntaje mas alto.

Los días 4 y 7 se evaluaron la turgencia con un puntaje promedio de 8,8 y 8,2 respectivamente en tanto el día 11 este índice cayó a 7,7 puntos. Todos los tratamientos permanecieron por sobre el límite comercial, excepto el lavado con agua potable, que obtuvo una valoración de 6,4.

Sabores extraños. En la Figura 22D se puede observar la tendencia de la evaluación de este atributo, siendo similar para todos los tratamientos, los que no presentaron diferencias significativas (Apéndice II, Cuadro 10).

En el transcurso del tiempo se observó apenas un leve aumento de este parámetro. Hasta la evaluación del día 7 las muestras se evaluaron con valoraciones entre 2,8 y 3,6 y el día 11 entre un rango de 3,1 a 4,3; la puntuación más alta la alcanzó la dosis 20,13 kJ m⁻².

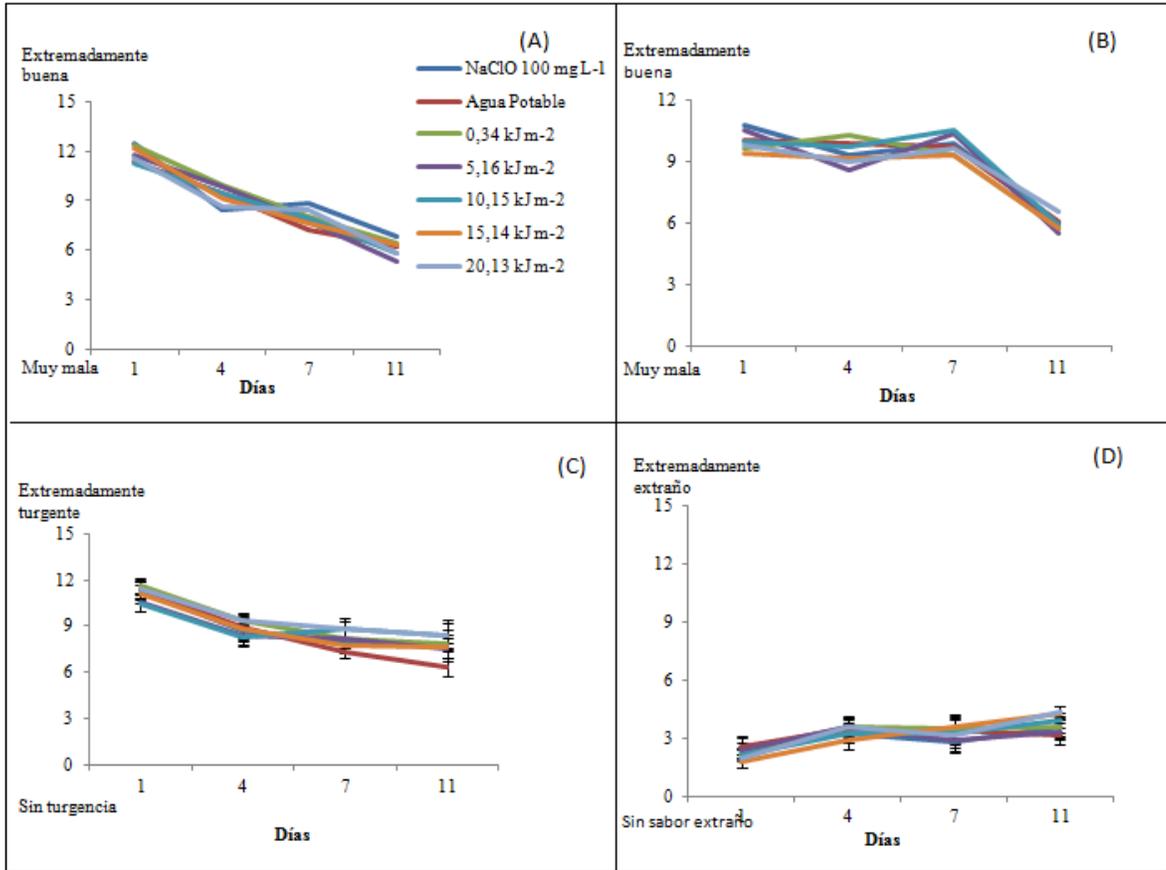


Figura 22. Efecto de diferentes lavados y dosis de radiación UV-C sobre los atributos sensoriales: Apariencia (A), Intensidad de color (B), Turgencia (C) y Sabores extraños (D). Los valores son la media \pm ES (n=14).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

- Dosis medias de radiación UV-C ($5,16$ y $10,15$ kJ m^{-2}) son efectivas para el control de microorganismos, como mesófilos, psicrófilos y enterobacterias, en hojas de berros conservados a 5 °C.
- Una dosis alta de radiación ($20,13$ kJ m^{-2}) disminuye significativamente la tasa respiratoria y la degradación del color en hojas de berros, sin embargo no es efectiva para controlar el crecimiento microbiano durante el periodo de conservación registrando los conteos más altos.
- La dosis media de $10,15$ kJ m^{-2} , además de ser efectiva para el control de microorganismos hasta 7 días de almacenamiento, disminuye la tasa respiratoria, la degradación del color y mantiene las características sensoriales de las hojas de berros, siendo la dosis más efectiva para hojas de berros conservados a 5 °C.

BIBLIOGRAFÍA

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 7: 179–187.

Alegría, C., J. Pinheiro, E.M. Gonçalves, I. Fernandes, M. Moldao and M. Abreu. 2009. Quality attributes of shredded carrot (*Daucus carota* L. cv. Nantes) as affected by alternative decontamination processes to chlorine. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10: 61-69.

Allende, A. and F. Artés. 2003. UV-C radiation a novel technique for keeping quality of fresh produce “Lollo Rosso” lettuce. *Food Research International* 36: 739-746.

Allende A., Y. Luo, J.L. McEvoy, F. Artés and C.Y. Wang. 2004. Microbial and quality changes in fresh-cut baby spinach stored under MAP and super atmospheric oxygen conditions. *Postharvest Biology and Technology* 33: 51–59.

Allende, A., J.L. McEvoy, Y. Luo, F. Artés, and C. Wang. 2006. 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* 23: 241 – 249.

Allende, A., M. Selma, F. López-Gálvez, R. Villaescusa and M.I. Gil, 2007. Role of commercial sanitizers and washing systems on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh-cut escarole and lettuce. *Postharvest Biology and Technology* 49:155-163.

Artés, F., M.A. Conesa, S. Hernández, and M.I. Gil. 1999. Keeping quality of fresh-cut tomato. *Postharvest Biology and Technology* 17: 153-162.

Artés-Calero, F., E. Aguayo, P. Gómez y F. Artés-Hernández. 2009. Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. *Revista Horticultura, Extra Poscosecha 2009*. Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/article.php?sid=73132>. Leído el 10 de septiembre, 2009.

Artés-Hernández, F., E. Aguayo, F. Artés and F. Tomás-Barberán. 2007. Enriched ozone atmosphere enhances bioactive phenolics in seedless table grapes after prolonged shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 824–831.

Artés-Hernández, F., V. H. Escalona, P. A. Robles, G. B. Martínez-Hernández and F. Artés. 2009. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 414–421.

- Bintsis, T., E. Litopoulou-Tzanetaki and R. Robinson. 2000. Existing and potential applications of UV light in the food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 637- 645.
- Cliffe-Byrnes, V. and D. O'Beirne. 2005. The effects of cultivar and physiological age on quality and shelf-life of coleslaw mix packaged in modified atmospheres. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 165 – 175.
- Escalona, V. y L. Luchsinger. 2008. Una revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. *Aconex* 99: 23- 27.
- Escalona, V.H., L. Luchsinger y L.A. Lizana. 2008. Efecto del envasado en atmósfera modificada sobre la calidad y la conservación de frutas y hortalizas. *Aconex* 98: 16 – 24.
- Gonçalves, E.M., R.M.S. Cruz, M. Abreu, T.R.S. Brandao and C.L.M. Silva. 2009. Biochemical and colour changes of watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) during freezing and frozen storage. *Journal of Food Engineering* 93: 32-39.
- González-Aguilar, G.A., F. Ayala-Zavala, S. Ruíz-Cruz, R. Cruz-Valenzuela y F. Cuamea-Navarro. 2004. Estado actual del mercado de frutos y vegetales frescos cortados. pp 7-16. En: *Simposium Estado actual del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica*. San José, Costa Rica, Abril 28-30, 2004. México.
- Higdon, J.V., B. Delage, D.E. Williams and R.H. Dashwood. 2007. Cruciferous vegetables and human cancer risk: epidemiological evidence and mechanistic basis. *Pharmacological Research*, 55: 224-236.
- Kader, A. 2002. *Tecnología Postcosecha de cultivos Hortofrutícolas*. Universidad de Davis, California. Estados Unidos. 580 p.
- Kader, A.A., D. Zagory and E.L. Kerbel, 1989. Modified atmosphere packaging on fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42: 1542-1551.
- Klaiber, R.G., S. Baur, W. Wolf, W.P. Hammes and R. Carle. 2005. Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6: 351 – 362.
- Kris-Etherton, P.M., Hecker, K.D., Bonanome, A., Coval, S.M., Binkoski, A.E., Hilpert, K.F., Gryel, A.E., Etherton, T.D. 2002. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine* 113: 71S-88S.
- Koukounaras, A., A.S. Siomos and E. Sfakiotakis. 2007. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology* 46: 167-173.

Lado, B. and A. Yousef. 2002. Alternative food-preservation technologies: Efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection*. 4: 433–440.

Lako, J., V.C. Trenerry, M. Wahlqvist, N. Wattanapenpaiboon, S. Sotheeswaran and R. Premier. 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry* 101: 1727-1741.

Liu, R.H. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *The Journal of Nutrition* 3479S-3485S.

Loaiza, J., and M. Cantwell. 1997. Postharvest physiology and quality of cilantro (*Coriandrum sativum* L.) *HortScience* 32: 104-107.

Martínez-Sánchez, A. 2008. Caracterización de compuestos bioactivos en crucíferas de uso en IV gama: aspectos relacionados con la fisiología y tecnología postrecolección. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, España. 333p.

Martínez-Sánchez, A., A. Allende, R. Bennet, F. Ferreres and M.I. Gil. 2006a. Microbial Nutritional and sensory quality of rocket leaves as effects by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology* 42: 86-87.

Martínez-Sánchez, A., A. Marín, R. Llorach, F. Ferreres and M.I. Gil. 2006b. Controlled atmosphere preserve quality and antioxidant constituents in wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.). *Postharvest Biology and Technology* 40: 26-33.

McGuire, R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.

MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE. 1997. Reglamento sanitario de los alimentos. Diario oficial 13 de mayo 1997. Decreto supremo 977. Actualizado en abril del 2009. Depto. de Asesoría Jurídica. Santiago. 105 p.

Murphy, S. E., L. M. Johnson, L. M. Losey, S. G. Carmella and S. S. Hecht. 2001. Effects of watercress consumption on coumarin metabolism in humans. *Drug Metabolism and Disposition* 29: 786–788.

Ölmez, H. and U. Kretzschmar. 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT-Food Science and Technology* 42: 686-693.

Ospina, M., M. Verdugo, A. Hinojosa, C. Saenz y V.H. Escalona. 2010. Efecto de atmósferas modificadas sobre la calidad de hojas de berros conservados bajo refrigeración. 12° Congreso de la Sociedad Uruguaya de Horti-Fruticultura.

- Piagentini, A., J. Méndez, D. Guemes and M.E. Pirovani, 2005. Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 38: 202-212.
- Ragaert, P., F. Devlieghere and J. Debevere. 2007. Role of microbiological and physiological mechanism during storage of minimally processed vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 44: 185-194.
- Rico, D., A.B. Martín-Diana, J.M. Barat and C. Barry-Ryan. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology* 18: 373-386.
- Rivera, D M., A. Gardea, M. A. Martínez, M. Rivera y G. A. González. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana, Soc. Mexicana de Filogenética, A. C.* 30(004): 361-372.
- Rodríguez, S. del C., A.G. Questa, C.G. Gúzman, R.M. Casóliba y M.B. Coronel. 2006. Calidad Microbiológica de vegetales mínimamente procesados. Experiencias en el noreste Argentino. *Revista del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (UNSE)*, 22: 99-106.
- Rojas, M. A. 2006. Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: una nueva estrategia de conservación. Tesis doctoral. Universidad de Lleida, España. 76 p.
- Sapers, G.M. 2003. Washing and sanitizing raw materials for minimally processed fruit and vegetables products, pp. 221- 253. In: Novak, J.S., Sapers, G.M., Juneja, V.K. (Eds.), *Microbial Safety of Minimally Processed Foods*. CRC Press, Boca Raton/London/New York/Washington DC.
- Sgroppo, C.C. y C.A. Sosa. 2009. Zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) fresco cortado tratado con luz UV-C. *FACENA*. 25: 7-19.
- Vandekinderen, I., F. Devlieghere, J. Van Camp, Q. Denon, S. Sánchez Alarcón, P. Ragaert and B. De Meulenaer. 2009. Impact of a decontamination step with peroxyacetic acid on the shelf-life, sensory quality and nutrient content of grated carrots packed under equilibrium modified atmosphere and stored at 7°C. *Postharvest Biology and Technology* 54: 141-152.
- Watada A.E. and L. Qi. 1999. Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 15: 201-205.
- Wiley, R. 1997. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 362p.

Zagory, D. 1999. Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. *Postharvest Biology and Technology* 15: 313-321.

ANEXOS

ANEXO I: EVALUACIÓN DE CALIDAD PANEL ENTRENADO

Nombre:.....Fecha:.....

Instrucciones:

Por favor, indique con una línea vertical la intensidad de su sensación para cada una de ellas.

Muestra N° ____

Aspecto visual

1. Apariencia

	15
--	----

Muy mala

Extremadamente buena

2. Intensidad color

	15
0 Verde- amarillo	Verde oscuro

Aspecto gustativo

1. Turgencia

	15
0 Sin turgencia	Extremadamente turgente

2. Sabores extraños

	15
0 Sin sabor	Extremadamente extraño

Comentarios: _____

ANEXO II

Cuadro1. Norma establecida por el Ministerio de Salud Pública para Frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados, listos para el consumo.

Parámetro	Plan de muestreo				Límite por gramo	
	Categoría	Clases	n	c	m	M
RAM	6	3	5	1	5×10^4 (4,69 log)	5×10^5 (5,69 log)
Enterobacteriaceas	6	3	5	1	5×10^3 (3,69 log)	5×10^4 (4,69 log)
E.coli	6	3	5	1	10	10^2
S.aureus	6	3	5	1	10	10^2
Salmonella en 25 g	10	2	5	0	0	---

n: número de muestras a ser examinadas; m: valor del parámetro microbiológico para el cual o por debajo del cual el alimento no representa un riesgo para la salud; c: número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos comprendidos entre “m” y “M” para que el alimento sea aceptable; M: valor del parámetro microbiológico por encima del cual el alimento representa un riesgo para la salud. **Grados de calidad:** “aceptable”: valores entre 0 y m; “medianamente aceptable”: valores entre m y M; “rechazable”: valores superiores a M. (Reglamento Sanitario de los Alimentos, Ministerio de Salud Pública, Chile, 1997).

APÉNDICE I

Cuadro 1. Tasa respiratoria ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de hojas de berros mínimamente procesadas tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5°C .

Tratamiento	Tiempo (días)							
	0		5		7		12	
NaClO 100 mg L^{-1}	71,0 \pm 3,1	Ab ^{1/}	35,8 \pm 0,8	ABa	38,6 \pm 2,4	ABCa	33,1 \pm 1,6	BCa
Agua Potable	79,5 \pm 2,0	ABb	38,0 \pm 1,9	ABa	36,9 \pm 0,7	ABCa	34,5 \pm 4,4	Ca
0,34 kJ m^{-2}	89,7 \pm 0,4	Cc	37,2 \pm 0,2	ABb	35,4 \pm 0,2	ABb	28,2 \pm 2,3	ABCa
5,16 kJ m^{-2}	79,9 \pm 1,4	Bc	34,2 \pm 0,7	Ab	32,9 \pm 0,8	Ab	24,4 \pm 1,1	Aa
10,15 kJ m^{-2}	78,9 \pm 2,5	Abc	38,1 \pm 0,8	ABb	41,9 \pm 2,0	BCb	28,4 \pm 1,4	ABCa
15,14 kJ m^{-2}	88,9 \pm 0,8	Cc	42,9 \pm 2,3	Bb	44,3 \pm 0,5	Cb	34,2 \pm 3,0	Ca
20,13 kJ m^{-2}	83,1 \pm 0,2	BCc	40,5 \pm 1,9	ABb	41,2 \pm 1,9	BCb	25,4 \pm 2,6	ABa

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2. Evolución del porcentaje de CO_2 en la atmósfera interna de los envases de berros mínimamente procesados, almacenados a 5°C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L^{-1}	2,3 \pm 0,0	Aa ^{1/}	3,4 \pm 0,0	Ab	3,3 \pm 0,3	ABb	3,9 \pm 0,3	Bb
Agua Potable	2,3 \pm 0,0	Aa	3,3 \pm 0,3	Ab	3,8 \pm 0,0	ABb	3,3 \pm 0,2	ABb
0,34 kJ m^{-2} UV-C	2,4 \pm 0,0	Aa	2,6 \pm 0,2	Aa	3,0 \pm 0,2	Aab	3,5 \pm 0,1	ABb
5,16 kJ m^{-2} UV-C	2,2 \pm 0,0	Aa	2,8 \pm 0,1	Aab	3,4 \pm 0,1	ABb	2,9 \pm 0,3	Aab
10,15 kJ m^{-2} UV-C	2,2 \pm 0,0	Aa	2,7 \pm 0,1	Aab	3,0 \pm 0,1	Ab	2,9 \pm 0,4	Aab
15,14 kJ m^{-2} UV-C	2,6 \pm 0,4	Aa	3,1 \pm 0,1	Aab	3,4 \pm 0,0	ABb	3,6 \pm 0,3	ABb
20,13 kJ m^{-2} UV-C	3,1 \pm 0,1	Aa	4,2 \pm 0,0	Bb	4,0 \pm 0,0	Bb	3,9 \pm 0,3	Bb

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 3. Evolución del porcentaje de O_2 en la atmósfera interna de los envases de berros mínimamente procesados, almacenados a 5°C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L^{-1}	16,4 \pm 0,6	Ac ^{1/}	8,7 \pm 0,3	ABb	6,8 \pm 0,3	Bb	3,1 \pm 0,3	Aa
Agua Potable	15,4 \pm 0,5	Ac	7,9 \pm 0,2	ABb	2,9 \pm 0,3	Aa	7,3 \pm 0,7	Bb
0,34 kJ m^{-2} UV-C	16,7 \pm 0,8	Ac	13,5 \pm 0,1	Cb	7,7 \pm 2,0	Ba	11,0 \pm 0,3	CDb
5,16 kJ m^{-2} UV-C	16,2 \pm 0,5	Ac	10,6 \pm 0,4	BCb	7,5 \pm 1,7	Ba	7,9 \pm 0,7	BCab
10,15 kJ m^{-2} UV-C	15,9 \pm 0,0	Ac	10,3 \pm 0,7	BCb	6,8 \pm 1,5	Ba	13,7 \pm 1,4	Db
15,14 kJ m^{-2} UV-C	15,1 \pm 1,0	Ac	8,8 \pm 1,4	ABb	4,6 \pm 0,6	ABa	3,0 \pm 0,9	Aa
20,13 kJ m^{-2} UV-C	14,9 \pm 0,4	Ac	5,8 \pm 0,8	Ab	3,1 \pm 0,5	Aa	2,8 \pm 0,2	Aa

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 4. Recuento de bacterias mesófilas (log ufc g⁻¹) en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	5,7 ± 0,1	Ab ^{1/}	6,3 ± 0,0	Ac	6,2 ± 0,2	Bc	5,1 ± 0,0	Aa
Agua Potable	5,9 ± 0,0	Aa	6,6 ± 0,0	Ac	6,1 ± 0,1	Bab	6,5 ± 0,3	Bbc
0,34 kJ m ⁻²	6,0 ± 0,1	Aa	6,6 ± 0,1	Ab	6,4 ± 0,1	Bab	6,0 ± 0,1	Ba
5,16 kJ m ⁻²	6,1 ± 0,1	Ab	6,4 ± 0,0	Ab	5,0 ± 0,3	Aa	5,4 ± 0,1	Aa
10,15 kJ m ⁻²	6,1 ± 0,1	Aa	6,4 ± 0,1	Aa	6,4 ± 0,1	Ba	7,2 ± 0,1	Cb
15,14 kJ m ⁻²	6,0 ± 0,0	Aa	6,5 ± 0,0	Ab	6,2 ± 0,3	Bab	7,4 ± 0,2	Cc
20,13 kJ m ⁻²	6,1 ± 0,0	Aa	6,4 ± 0,1	Aa	6,4 ± 0,0	Ba	7,2 ± 0,1	Cb

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 5. Recuento de enterobacterias (log ufc g⁻¹) en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	2,3 ± 0,3	Aa ^{1/}	5,0 ± 0,3	Ab	5,2 ± 0,0	Ab	5,5 ± 0,2	ABb
Agua Potable	4,2 ± 0,0	Ba	5,5 ± 0,0	Ab	5,4 ± 0,2	Ab	6,5 ± 0,0	Bb
0,34 kJ m ⁻²	4,4 ± 0,2	Ba	5,3 ± 0,0	Aab	5,8 ± 0,0	Ab	6,0 ± 0,1	ABb
5,16 kJ m ⁻²	3,9 ± 0,2	Ba	5,1 ± 0,1	Ab	5,0 ± 1,1	Aab	5,0 ± 0,5	Aab
10,15 kJ m ⁻²	4,4 ± 0,3	Ba	4,8 ± 0,5	Aab	5,2 ± 0,1	Aab	5,8 ± 0,1	ABb
15,14 kJ m ⁻²	4,2 ± 0,1	Ba	5,3 ± 0,0	Aab	5,7 ± 0,0	Ab	6,3 ± 0,0	ABb
20,13 kJ m ⁻²	3,7 ± 0,5	Ba	5,1 ± 0,0	Ab	5,4 ± 0,2	Ab	5,9 ± 0,0	ABb

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 6. Evolución de la luminosidad en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	43,8 ± 0,5	ABa ^{1/}	44,5 ± 0,4	ABa	45,4 ± 0,4	Aa	48,8 ± 0,7	Ab
Agua Potable	42,6 ± 0,4	ABa	43,8 ± 0,5	Aab	45,2 ± 0,8	Ab	49,6 ± 0,8	Ac
0,34 kJ m ⁻²	42,8 ± 0,4	ABa	44,3 ± 0,5	ABab	45,4 ± 0,4	Ab	49,2 ± 0,7	Ac
5,16 kJ m ⁻²	44,5 ± 0,5	Ba	46,3 ± 0,4	Bab	48,1 ± 0,6	BCbc	49,3 ± 0,9	Ac
10,15 kJ m ⁻²	42,3 ± 0,6	Aa	46,1 ± 0,4	Bb	45,9 ± 0,7	Abb	48,4 ± 0,8	Ac
15,14 kJ m ⁻²	43,6 ± 0,5	ABa	44,4 ± 0,6	ABab	45,6 ± 0,6	Ab	48,8 ± 1,0	Ac
20,13 kJ m ⁻²	43,3 ± 0,6	ABa	45,0 ± 0,5	Aba	48,2 ± 0,5	Cb	47,8 ± 0,8	Ab

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 7. Evolución del tono (c) en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5 ° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	33,3 ± 0,6	Aa ^{1/}	34,4 ± 0,5	Aa	36,4 ± 0,4	Ab	40,0 ± 0,8	BCc
Agua Potable	32,9 ± 0,6	Aa	33,8 ± 0,6	Aab	35,4 ± 1,0	Ab	40,4 ± 0,8	Cc
0,34 kJ m ⁻²	33,9 ± 0,5	Aa	34,6 ± 0,5	Aab	36,3 ± 0,5	Ab	39,5 ± 0,8	BCc
5,16 kJ m ⁻²	33,4 ± 0,4	Aa	34,0 ± 0,5	Aa	36,2 ± 0,5	Ab	38,0 ± 0,7	ABCc
10,15 kJ m ⁻²	32,2 ± 0,6	Aa	35,2 ± 0,5	Aab	36,0 ± 0,6	Ab	37,6 ± 0,7	ABc
15,14 kJ m ⁻²	32,3 ± 0,5	Aa	33,7 ± 0,6	Aa	36,0 ± 0,5	Ab	37,5 ± 1,0	ABb
20,13 kJ m ⁻²	31,9 ± 0,4	Aa	33,0 ± 0,4	Aa	37,6 ± 0,4	Ab	36,8 ± 0,8	Ab

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 8. Evolución de hue en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	126,4 ± 0,3	Ac ^{1/}	125,5 ± 0,3	Abc	124,5 ± 0,2	Bb	121,6 ± 0,6	Aa
Agua Potable	126,9 ± 0,3	Ac	126,0 ± 0,3	Ac	124,8 ± 0,6	Bb	121,4 ± 0,5	Aa
0,34 kJ m ⁻²	126,2 ± 0,2	Ac	125,3 ± 0,2	Abc	124,7 ± 0,3	Bb	121,8 ± 0,5	Aa
5,16 kJ m ⁻²	126,4 ± 0,2	Ab	125,4 ± 0,2	Ab	123,7 ± 0,4	ABa	122,7 ± 0,6	Aa
10,15 kJ m ⁻²	127,1 ± 0,3	Ac	125,1 ± 0,3	Ab	124,1 ± 0,3	ABb	121,7 ± 0,4	Aa
15,14 kJ m ⁻²	127,0 ± 0,3	Ac	125,7 ± 0,3	Ab	124,0 ± 0,3	ABa	122,9 ± 0,7	Aa
20,13 kJ m ⁻²	127,3 ± 0,3	Ac	126,0 ± 0,3	Ab	123,1 ± 0,3	Aa	122,7 ± 0,6	Aa

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 9. Efecto de diferentes lavados y dosis de radiación UV-C aplicados en hojas de berros mínimamente procesadas almacenadas a 5°C, sobre atributos sensoriales: Apariencia, Intensidad de Color, Turgencia y Sabores extraños.

Parámetro Sensorial	Días	Tratamientos										
		NaClO 100 mg L ⁻¹	Agua Potable	0,34 kJ m ² UV-C	5,16 kJ m ² UV-C	10,15 kJ m ² UV-C	15,14 kJ m ² UV-C	20,13 kJ m ² UV-C				
Apariencia	1	12,1 ± 0,5 Ab ^{1/}	11,5 ± 0,5 Ab	12,1 ± 0,6 Ac	11,8 ± 0,5 Ad	11,7 ± 0,4 Ac	12,1 ± 0,5 Ac	11,5 ± 0,5 Ac				
	4	8,6 ± 0,4 Aa	9,6 ± 0,2 Ab	9,7 ± 0,5 Ab	9,8 ± 0,3 Ac	9,7 ± 0,4 Ab	8,7 ± 0,8 Ab	8,6 ± 0,7 Ab				
	7	8,3 ± 0,7 Aa	7,3 ± 0,9 Aa	8,3 ± 0,5 Aab	7,7 ± 0,5 Ab	8,1 ± 0,4 Ab	7,6 ± 0,5 Aab	8,6 ± 0,5 Ab				
	11	6,9 ± 0,6 Aa	6,3 ± 0,6 Aa	6,8 ± 0,6 Aa	5,4 ± 0,6 Aa	6,0 ± 0,5 Aa	6,3 ± 0,6 Aa	6,0 ± 0,6 Aa				
Intensidad de Color	1	10,9 ± 0,7 Ab	10,0 ± 0,6 Ab	9,7 ± 0,5 Ab	10,8 ± 0,7 Ab	9,8 ± 0,6 Ab	9,5 ± 0,7 Ab	10,0 ± 0,6 Ab				
	4	9,6 ± 0,7 Ab	9,8 ± 0,4 Ab	10,3 ± 0,7 Ab	8,6 ± 0,7 Ab	9,8 ± 0,7 Ab	9,2 ± 0,8 Ab	9,1 ± 0,6 Aab				
	7	9,8 ± 0,6 Ab	9,8 ± 0,7 Ab	9,8 ± 0,7 Ab	10,5 ± 0,6 Ab	10,7 ± 0,7 Ab	9,4 ± 0,9 Ab	10,2 ± 0,7 Ab				
	11	6,0 ± 1,1 Aa	6,2 ± 1,1 Aa	5,8 ± 0,5 Aa	5,6 ± 0,6 Aa	6,0 ± 0,8 Aa	5,8 ± 0,8 Aa	6,7 ± 0,9 Aa				
Turgencia	1	11,6 ± 0,6 Ab	11,2 ± 0,6 Ab	11,6 ± 0,4 Ab	10,4 ± 0,7 Aa	9,6 ± 0,7 Aa	10,7 ± 0,6 Ab	11,2 ± 0,7 Ac				
	4	8,8 ± 0,5 Aa	8,9 ± 0,6 Aab	7,2 ± 0,8 Aa	8,8 ± 0,6 Aa	8,5 ± 0,6 Aa	9,2 ± 0,8 Aab	8,9 ± 0,8 Abc				
	7	7,8 ± 0,8 ABa	8,3 ± 0,9 ABa	8,3 ± 1,1 ABa	9,2 ± 0,8 Ba	9,3 ± 0,6 Ba	7,8 ± 0,4 ABa	7,7 ± 0,6 Aab				
	11	9,3 ± 0,7 Bab	8,1 ± 0,8 ABa	8,3 ± 0,8 ABa	8,0 ± 0,9 ABa	7,2 ± 0,9 ABa	8,2 ± 0,7 ABab	5,7 ± 1,1 Aa				
Sabores extraños	1	2,5 ± 0,6 Aa	2,7 ± 0,5 Aa	2,9 ± 0,4 Aa	2,1 ± 0,4 Aa	3,8 ± 0,5 Aa	1,7 ± 0,6 Aa	2,2 ± 0,6 Aa				
	4	3,4 ± 0,5 Aa	3,0 ± 0,3 Aa	2,9 ± 0,6 Aa	4,0 ± 0,6 Aa	2,8 ± 0,5 Aa	3,2 ± 0,7 Aa	3,7 ± 0,6 Aab				
	7	2,8 ± 0,4 Aa	2,5 ± 0,5 Aa	3,2 ± 0,5 Aa	2,8 ± 0,5 Aa	2,7 ± 0,6 Aa	3,2 ± 0,6 Aa	2,7 ± 0,4 Aa				
	11	2,9 ± 0,5 ABa	2,6 ± 0,3 ABa	1,8 ± 0,4 Aa	2,5 ± 0,5 ABa	2,2 ± 0,6 Aa	3,6 ± 0,9 ABa	4,6 ± 0,5 Bb				

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05). Letras mayúsculas comparan horizontalmente y letras minúsculas verticalmente.

APENDICE II

Cuadro 1. Tasa respiratoria ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Tratamiento	Tiempo (días)									
	0		1		5		7		12	
NaClO 100 mg L ⁻¹	58,8 ± 1,5	Bb ^{1/}	32,4 ± 1,0	Ba	29,9 ± 0,5	ABa	29,3 ± 1,0	Ca	29,3 ± 1,1	BCa
Agua Potable	64,3 ± 0,9	Cc	35,8 ± 1,8	Bb	31,3 ± 0,3	Bab	26,7 ± 0,2	BCa	30,0 ± 1,2	Ca
0,34 kJ m ⁻²	57,6 ± 1,3	Bd	32,4 ± 0,5	Bc	28,4 ± 0,8	ABbc	23,5 ± 0,6	ABa	24,9 ± 0,8	ABab
5,16 kJ m ⁻²	58,8 ± 0,4	Bd	36,2 ± 0,5	Bbc	36,8 ± 1,0	Cc	30,4 ± 1,2	Ca	31,1 ± 1,0	Cab
10,15 kJ m ⁻²	67,6 ± 0,6	Cd	32,1 ± 0,3	Bbc	36,4 ± 0,8	Cc	20,0 ± 2,0	Aa	27,6 ± 1,6	ABCb
15,14 kJ m ⁻²	56,0 ± 1,0	ABc	25,2 ± 2,6	Aa	32,3 ± 1,2	BCb	29,9 ± 1,1	Cb	29,8 ± 1,0	Cb
20,13 kJ m ⁻²	51,6 ± 1,0	Ab	22,6 ± 1,2	Aa	24,8 ± 0,1	Aa	19,5 ± 3,4	Aa	23,4 ± 1,2	Aa

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2. Evolución del porcentaje de CO₂ en la atmósfera interna de los envases de berros mínimamente procesados, almacenados a 5 °C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	2,4 ± 0,0	BCa ^{1/}	3,4 ± 0,1	Ac	2,8 ± 0,1	Ab	3,2 ± 0,2	Ac
Agua Potable	2,5 ± 0,1	Ca	3,9 ± 0,0	Bc	3,2 ± 0,1	Bb	3,8 ± 0,1	Bc
0,34 kJ m ⁻²	2,3 ± 0,0	ABCa	3,6 ± 0,0	ABc	3,4 ± 0,1	BCbc	3,3 ± 0,1	Ab
5,16 kJ m ⁻²	2,4 ± 0,1	BCa	3,9 ± 0,2	Bb	3,7 ± 0,1	CDb	3,7 ± 0,1	Bb
10,15 kJ m ⁻²	2,0 ± 0,1	Aa	3,8 ± 0,1	Bb	3,7 ± 0,0	Cb	4,4 ± 0,1	Cc
15,14 kJ m ⁻²	2,1 ± 0,1	Aba	3,6 ± 0,0	ABb	4,0 ± 0,0	Dc	3,8 ± 0,0	Bcb
20,13 kJ m ⁻²	2,0 ± 0,0	Aa	3,9 ± 0,0	Bb	3,6 ± 0,1	Cb	4,2 ± 0,0	Cc

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 3. Evolución del porcentaje de O₂ en la atmósfera interna de los envases de berros mínimamente procesados, almacenados a 5 °C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	15,9 ± 0,1	Ac ^{1/}	10,0 ± 0,2	ABb	8,9 ± 1,0	Ab	3,4 ± 0,9	Aa
Agua Potable	16,1 ± 0,1	Ac	8,7 ± 0,2	Ab	7,7 ± 0,5	Ab	3,5 ± 0,2	Aa
0,34 kJ m ⁻²	16,4 ± 0,1	Ad	10,9 ± 0,2	ABc	7,3 ± 0,9	Ab	2,8 ± 1,0	Aa
5,16 kJ m ⁻²	16,6 ± 0,3	Ad	9,8 ± 0,3	ABc	7,3 ± 0,3	Ab	2,7 ± 0,9	Aa
10,15 kJ m ⁻²	17,4 ± 0,2	Ad	10,5 ± 0,2	ABc	7,6 ± 0,9	Ab	2,4 ± 0,6	Aa
15,14 kJ m ⁻²	16,7 ± 0,1	Ad	11,5 ± 0,4	Bc	6,7 ± 0,2	Ab	3,6 ± 1,7	Aa
20,13 kJ m ⁻²	16,9 ± 0,3	Ad	10,3 ± 0,2	ABc	7,7 ± 0,7	Ab	2,4 ± 0,2	Aa

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 4. Recuento de bacterias mesófilas (log ufc g⁻¹) en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)			
	1	4	7	11
Materia Prima	6,6 ± 0,0 D			
NaClO 100 mg L ⁻¹	5,1 ± 0,1 Ba	5,0 ± 0,4 Aa	5,4 ± 0,2 Aa	6,6 ± 0,1 Ab
Agua Potable	5,7 ± 0,2 BCa	6,4 ± 0,2 Bb	6,4 ± 0,1 Bb	7,6 ± 0,6 BCc
0,34 kJ m ⁻²	5,5 ± 0,0 BCa	6,3 ± 0,1 Bb	6,0 ± 0,2 Bab	6,9 ± 0,1 Ac
5,16 kJ m ⁻²	5,2 ± 0,1 Ba	5,3 ± 0,2 Aa	5,3 ± 0,1 Aa	6,8 ± 0,2 Ab
10,15 kJ m ⁻²	4,3 ± 0,1 Aa	4,9 ± 0,3 Ab	5,4 ± 0,4 Ab	7,2 ± 0,0 ABC
15,14 kJ m ⁻²	4,5 ± 0,1 Aa	5,3 ± 0,1 Ab	5,4 ± 0,2 Ab	7,5 ± 0,2 BCc
20,13 kJ m ⁻²	6,1 ± 0,1 CDa	6,1 ± 0,2 Bb	6,3 ± 0,1 Bb	7,8 ± 0,1 Cc

^{UV} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 5. Recuento de enterobacterias (log ufc g⁻¹) en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)			
	1	4	7	11
Materia Prima	6,0 ± 0,1 B			
NaClO 100 mg L ⁻¹	4,6 ± 0,0 Aa	5,6 ± 0,2 ABb	6,1 ± 0,3 Abc	6,5 ± 0,0 ABC
Agua Potable	5,6 ± 0,1 Ba	6,1 ± 0,1 ABab	6,6 ± 0,1 Abc	7,1 ± 0,3 Ac
0,34 kJ m ⁻²	5,3 ± 0,1 ABa	6,4 ± 0,1 Bb	6,4 ± 0,1 Ab	6,5 ± 0,3 ABb
5,16 kJ m ⁻²	5,1 ± 0,5 ABa	5,2 ± 0,1 Aa	5,9 ± 0,3 Aab	6,3 ± 0,3 Ab
10,15 kJ m ⁻²	5,3 ± 0,2 ABa	5,3 ± 0,0 Aa	6,1 ± 0,3 Ab	6,8 ± 0,1 ABCb
15,14 kJ m ⁻²	5,1 ± 0,1 ABa	5,4 ± 0,0 Aa	6,2 ± 0,3 Ab	7,3 ± 0,2 BCc
20,13 kJ m ⁻²	5,7 ± 0,1 Ba	5,8 ± 0,2 ABa	6,7 ± 0,4 Ab	7,6 ± 0,2 Cc

^{UV} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 6. Recuento de psicófilos (log ufc g⁻¹) en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)			
	1	4	7	11
Materia Prima	5,8 ± 0,2 D			
NaClO 100 mg L ⁻¹	3,4 ± 0,6 ABCa	4,4 ± 0,4 Ab	5,4 ± 0,2 ABc	6,6 ± 0,2 Ad
Agua Potable	3,9 ± 0,2 BCa	5,1 ± 0,1 Ab	5,8 ± 0,2 ABb	7,0 ± 0,2 Ac
0,34 kJ m ⁻²	3,1 ± 0,2 ABa	4,7 ± 0,1 Ab	5,5 ± 0,1 ABb	6,5 ± 0,5 Ac
5,16 kJ m ⁻²	2,8 ± 0,4 Aa	4,9 ± 0,1 Ab	5,1 ± 0,3 Ab	6,4 ± 0,3 Ac
10,15 kJ m ⁻²	2,7 ± 0,0 Aa	5,3 ± 0,0 Ab	5,2 ± 0,3 ABb	7,0 ± 0,1 Ac
15,14 kJ m ⁻²	2,8 ± 0,1 Aa	4,9 ± 0,0 Ab	5,6 ± 0,2 ABb	7,0 ± 0,1 Ac
20,13 kJ m ⁻²	4,3 ± 0,1 Ca	5,2 ± 0,1 Ab	6,3 ± 0,2 Bc	7,4 ± 0,0 Ad

^{UV} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 7. Evolución de la luminosidad en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	42,8 ± 0,4	Aba ^{1/}	44,5 ± 0,4	ABab	45,8 ± 0,4	ABb	51,4 ± 0,9	Bc
Agua Potable	42,6 ± 0,4	ABa	43,8 ± 0,5	Aab	45,2 ± 0,8	Ab	50,9 ± 0,9	ABc
0,34 kJ m ⁻²	42,8 ± 0,4	ABa	44,3 ± 0,5	ABab	45,4 ± 0,4	Ab	50,2 ± 0,8	ABc
5,16 kJ m ⁻²	44,5 ± 0,5	Ba	46,3 ± 0,4	Bab	48,1 ± 0,6	BCb	50,5 ± 1,0	ABc
10,15 kJ m ⁻²	42,3 ± 0,6	Aa	45,8 ± 0,4	ABb	46,0 ± 0,7	ABb	49,1 ± 0,9	ABc
15,14 kJ m ⁻²	43,6 ± 0,5	ABa	44,4 ± 0,6	ABab	45,6 ± 0,6	Ab	49,7 ± 1,0	ABc
20,13 kJ m ⁻²	43,3 ± 0,6	ABa	45,0 ± 0,5	ABa	48,2 ± 0,5	Cb	48,5 ± 0,9	Ab

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 8. Evolución del tono en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	32,5 ± 0,6	Aa ^{1/}	34,4 ± 0,5	Ab	36,6 ± 0,4	Ac	40,4 ± 0,7	BCd
Agua Potable	32,9 ± 0,6	Aa	33,8 ± 0,6	Aab	35,4 ± 1,0	Ab	41,4 ± 0,9	Cc
0,34 kJ m ⁻²	33,9 ± 0,5	Aa	34,6 ± 0,5	Aab	36,3 ± 0,5	Ab	39,7 ± 0,8	BCc
5,16 kJ m ⁻²	33,4 ± 0,4	Aa	34,0 ± 0,5	Aa	36,2 ± 0,5	Ab	38,0 ± 0,7	ABb
10,15 kJ m ⁻²	32,2 ± 0,6	Aa	35,0 ± 0,4	Aab	36,1 ± 0,6	Ab	38,0 ± 0,8	ABc
15,14 kJ m ⁻²	32,3 ± 0,5	Aa	33,7 ± 0,6	Aa	36,0 ± 0,5	Ab	38,3 ± 1,1	ABc
20,13 kJ m ⁻²	31,9 ± 0,4	Aa	33,0 ± 0,4	Aa	37,6 ± 0,4	Ab	36,8 ± 0,8	Ab

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 9. Evolución de hue en hojas de berros tratadas con diferentes lavados y dosis de radiación UV-C almacenadas a 5° C por 11 días.

Tratamiento	Tiempo (días)							
	1		4		7		11	
NaClO 100 mg L ⁻¹	127,0 ± 0,3	Ad	125,5 ± 0,3	Ac	124,2 ± 0,2	ABb	119,8 ± 0,6	Aa
Agua Potable	126,9 ± 0,3	Ac	126,0 ± 0,3	Ac	124,8 ± 0,6	Bb	119,6 ± 0,7	Aa
0,34 kJ m ⁻²	126,2 ± 0,2	Ac	125,3 ± 0,2	Abc	124,7 ± 0,3	Bb	120,9 ± 0,6	ABa
5,16 kJ m ⁻²	126,4 ± 0,2	Ac	125,4 ± 0,2	Ac	123,7 ± 0,4	ABb	121,6 ± 0,8	BCa
10,15 kJ m ⁻²	127,1 ± 0,3	Ac	125,1 ± 0,3	Ab	124,1 ± 0,3	ABb	121,2 ± 0,5	Ba
15,14 kJ m ⁻²	127,0 ± 0,3	Ad	125,7 ± 0,3	Ac	124,0 ± 0,3	ABb	120,9 ± 0,8	ABa
20,13 kJ m ⁻²	127,3 ± 0,3	Ac	126,0 ± 0,3	Ab	123,1 ± 0,3	Aa	122,7 ± 0,6	Ca

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). Letras mayúsculas comparan verticalmente y letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 10. Efecto de diferentes lavados y dosis de radiación UV-C aplicados en hojas de berros mínimamente procesadas almacenadas a 5°C, sobre atributos sensoriales: Apariencia, Intensidad de Color, Turgencia y Sabores extraños.

Parámetro Sensorial	Días	Tratamientos									
		NaClO 100 mg L ⁻¹	Agua Potable	0,34 kJ m ⁻² UV-C	5,16 kJ m ⁻² UV-C	10,15 kJ m ⁻² UV-C	15,14 kJ m ⁻² UV-C	20,13 kJ m ⁻² UV-C			
Apariencia	1	12,5 ± 0,5 Ac	11,3 ± 0,5 Ab	12,4 ± 0,5 Ac	11,7 ± 0,5 Ad	11,3 ± 0,4 Ac	12,1 ± 0,4 Ac	11,6 ± 0,5 Ac			
	4	8,5 ± 0,5 Aab	9,5 ± 0,2 Ab	9,9 ± 0,4 Ab	9,8 ± 0,3 Ac	9,5 ± 0,4 bc	9,1 ± 0,7 Ab	8,6 ± 0,7 Ab			
	7	8,8 ± 0,6 Ab	7,3 ± 0,9 Aa	8,1 ± 0,5 Aa1	7,7 ± 0,5 Ab	7,9 ± 0,4 Ab	7,6 ± 0,5 Aa1	8,4 ± 0,6 Ab			
	11	6,8 ± 0,5 Aa	6,2 ± 0,6 Aa	6,4 ± 0,6 Aa	5,3 ± 0,5 Aa	5,8 ± 0,5 Ac	6,3 ± 0,6 Aa	5,9 ± 0,6 Aa			
Intensidad de Color	1	10,8 ± 0,7 Ab	10,0 ± 0,6 Ab	9,7 ± 0,6 Ab	10,6 ± 0,6 Ab	10,0 ± 0,6 Ab	9,4 ± 0,7 Ab	9,8 ± 0,6 Ab			
	4	9,3 ± 0,7 Ab	9,9 ± 0,4 Ab	10,3 ± 0,7 Ab	8,6 ± 0,7 Ab	9,7 ± 0,6 Ab	9,1 ± 0,8 Ab	9,0 ± 0,5 Ab			
	7	9,9 ± 0,6 Ab	9,7 ± 0,7 Ab	9,3 ± 0,7 Ab	10,4 ± 0,6 Ab	10,5 ± 0,7 Ab	9,3 ± 0,9 Ab	9,7 ± 0,8 Aab			
	11	6,0 ± 1,1 Aa	6,1 ± 1,1 Aa	5,7 ± 0,5 Aa	5,5 ± 0,6 Aa	5,9 ± 0,8 Aa	5,8 ± 0,9 Aa	6,6 ± 0,9 Aa			
Turgencia	1	11,4 ± 0,6 Ab	11,4 ± 0,5 Ac	11,6 ± 0,5 Ab	10,6 ± 0,6 Ab	10,5 ± 0,5 Aa	11,1 ± 0,6 Ab	11,4 ± 0,6 Ab			
	4	8,7 ± 0,5 Aa	8,9 ± 0,7 Ab	9,4 ± 0,4 Aa1	8,4 ± 0,6 Aa1	8,3 ± 0,6 Aa	8,9 ± 0,9 Aa1	9,4 ± 0,3 Aab			
	7	8,0 ± 0,8 Aa	7,4 ± 0,4 Aa1	8,2 ± 0,6 Aa	8,2 ± 0,6 Aa	8,8 ± 0,6 Aa	7,7 ± 0,4 Aa	8,9 ± 0,7 Aa			
	11	7,7 ± 0,7 Aa	6,4 ± 0,6 Aa	7,9 ± 0,9 Aa	7,5 ± 0,8 Aa	8,4 ± 1,0 Aa	7,6 ± 0,3 Aa	8,4 ± 0,8 Aa			
Sabores extraños	1	2,5 ± 0,5 Aa	2,6 ± 0,4 Aa	2,2 ± 0,3 Aa	2,4 ± 0,4 Aa	2,1 ± 0,3 Ab	1,8 ± 0,3 Ab	1,9 ± 0,5 Ab			
	4	3,2 ± 0,5 Aa	3,5 ± 0,5 Aa	3,5 ± 0,6 Aa	3,6 ± 0,5 Aa	3,3 ± 0,5 Aa1	2,9 ± 0,5 Aa1	3,5 ± 0,5 Aab			
	7	2,8 ± 0,5 Aa	3,4 ± 0,6 Aa	3,5 ± 0,7 Aa	2,9 ± 0,6 Aa	3,3 ± 0,7 Aa1	3,6 ± 0,6 Aa1	3,1 ± 0,5 Aab			
	11	3,6 ± 0,5 Aa	3,1 ± 0,2 Aa	3,6 ± 0,6 Aa	3,3 ± 0,7 Aa	3,9 ± 0,4 Aa	4,2 ± 0,5 Aa	4,3 ± 0,4 Aa			

^{1/} Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05). Letras mayúsculas comparan horizontalmente y letras minúsculas verticalmente.

APÉNDICE III

Diseño de la cámara de radiación

