

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE LA CALIDAD EN BROTES DE  
ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CONSERVADOS EN ATMÓSFERAS  
MODIFICADAS**

**ALEJANDRO ANTONIO TARDÓN MACHUCA**

Santiago - Chile  
2011

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE LA CALIDAD EN BROTES DE  
ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CONSERVADOS EN ATMÓSFERAS  
MODIFICADAS**

**EFFECTO OF UV-C RADATION ON THE QUALITY IN ALFALFA  
GERMINATED (*Medicago sativa* L.) KEPT IN MODIFIED ATMOSPHERE**

**ALEJANDRO ANTONIO TARDÓN MACHUCA**

Santiago - Chile  
2011

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE LA CALIDAD EN BROTES DE  
ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CONSERVADOS EN ATMÓSFERAS  
MODIFICADAS**

Memoria para optar al título profesional  
de Ingeniero Agrónomo

**ALEJANDRO ANTONIO TARDÓN MACHUCA**

PROFESORES GUÍAS	CALIFICACIONES
Sr. Víctor Escalona C. Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0
Sra. Carmen Sáenz H. Químico Farmacéutico, Dr.	6,5
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sr. Hugo Núñez K. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,5
Sr. Marcos Mora G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0

Santiago – Chile  
2011

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres Victor y Eliana y a mi hermano Victor, ya que gracias a su constante amor, esfuerzo y dedicación, me han dado una vida maravillosa y una formación ejemplar. También extendo esta mención a mi familia por su apoyo constante en este proceso.

A Luisa por su amor, apoyo y compañía y por ayudarme en todo momento en la elaboración de esta memoria.

Al proyecto Nacional Proyecto Fondecyt N° 1090059 y a la empresa Más Vida por permitirme desarrollar esta memoria de título.

A mis profesores guías Victor Escalona y Carmen Sáenz por su compromiso, comprensión, orientación, preocupación constante y enseñanzas en el desarrollo de la memoria de título. Muchas gracias.

Además quiero agradecer a cada uno de los integrantes del CEPOC por su gran ayuda y paciencia durante la realización de la memoria, Daniela Cárdenas, Alejandra Machuca, Andrea Hinojosa. A Javier Obando por su dedicación, sugerencias y colaboración en el análisis estadístico de esta memoria.

A mis compañeros y amigos por su cariño y alentarme en todo momento.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>ÍNDICE</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>10</b>
<b>Objetivo general</b>	<b>10</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>11</b>
<b>Lugar de estudio</b>	<b>11</b>
<b>Materiales</b>	<b>11</b>
Diseño Experimental	<b>12</b>
<b>Metodología</b>	<b>12</b>
Recolección, transporte y almacenamiento	<b>12</b>
Selección	<b>12</b>
Lavado	<b>14</b>
Secado	<b>14</b>
Aplicación de radiación UV-C	<b>15</b>
Envasado	<b>16</b>
<b>Determinación de los parámetros fisiológicos, sensoriales y microbiológicos</b>	<b>17</b>
Tasa respiratoria	<b>17</b>
Composición gaseosa en el interior de las bolsas	<b>17</b>
Color	<b>18</b>
Análisis microbiológico	<b>18</b>
Análisis sensorial	<b>19</b>
<b>Análisis estadístico</b>	<b>20</b>
<b>Diseño del envase para brotes de alfalfa</b>	<b>20</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>23</b>
<b>Ensayo 1</b>	<b>23</b>
Tasa respiratoria	<b>23</b>
Composición gaseosa al interior de las bolsas	<b>24</b>
Color	<b>26</b>
Análisis microbiológico	<b>29</b>
Análisis sensorial	<b>32</b>

<b>Ensayo 2</b>	<b>38</b>
Tasa respiratoria	<b>38</b>
Composición gaseosa en el interior de las bolsas	<b>40</b>
Color	<b>41</b>
Análisis microbiológico	<b>43</b>
Análisis sensorial	<b>47</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>58</b>
<b>APÉNDICE I</b>	<b>59</b>

## RESUMEN

La industria de hortalizas mínimamente procesadas en fresco (MPF) utiliza comúnmente lavados con hipoclorito de sodio (NaClO) para disminuir la carga microbiana del producto, sin embargo, éste genera subproductos perjudiciales para la salud. Por esto, la necesidad de encontrar nuevas tecnologías emergentes y sostenibles como la radiación UV-C.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de radiación UV-C sobre la calidad de brotes de alfalfa envasados en atmósfera modificada. Se realizaron dos ensayos utilizando bolsas de baja y alta permeabilidad. Los brotes fueron lavados con agua potable y tratados con UV-C en dosis de 0,35, 5,26, 10,18, 15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup>. Tras la aplicación del tratamiento UV-C, los brotes se envasaron en atmósfera modificada y se almacenaron a 5 °C por 8 días. Como testigo se utilizaron brotes lavados con NaClO (100 mg L<sup>-1</sup>) y envasados de la misma forma. Se evaluó la tasa respiratoria, composición gaseosa al interior de las bolsas, color, análisis microbiológico y sensorial.

La combinación de radiación UV-C con bolsas de baja permeabilidad no fue efectiva para mantener la calidad en los brotes de alfalfa. La tasa respiratoria de los brotes no se vio afectada por las dosis de radiación utilizadas. La concentración gaseosa al interior de las bolsas registró valores de 19 a 23% CO<sub>2</sub> y 1,5% para O<sub>2</sub> tras 8 días, no influyendo las distintas dosis de radiación utilizadas. Los tratamientos con NaClO y en especial el tratamiento en bolsa perforada, reflejaron un menor pardeamiento en comparación a los tratamientos con dosis elevadas de UV-C (15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup>). El tratamiento con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> obtuvo los recuentos más elevados en mesófilos y psicrófilos, mientras que en enterobacterias, *Lactobacillus*, además de hongos y levaduras no existieron diferencias entre los distintos tratamientos, no obstante los conteos se encontraron dentro de los límites permitidos. La calidad sensorial de los brotes no registró diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo presentaron un deterioro evidente fuera de los límites de aceptabilidad fijados, teniendo un potencial de almacenamiento no superior a 4 o 5 días.

Las bolsas de alta permeabilidad en conjunto con la aplicación de radiación UV-C, fueron efectivas para mantener la calidad general en brotes de alfalfa. La tasa respiratoria no se vio afectada por las distintas dosis de radiación utilizada. Al interior de las bolsas, se registraron concentraciones gaseosas de 2 a 3% para CO<sub>2</sub> y 4 a 8% para O<sub>2</sub> luego de 8 días. La radiación UV-C permitió mantener el color de los brotes, registrando diferencias sólo los tratamientos 10,18 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> que presentaron un color más intenso (mayor C\*), mientras que la L y Hab se mantuvieron sin diferencias significativas. Las dosis (15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup>) proporcionaron un control efectivo sobre el crecimiento de mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, además de hongos y levaduras, mientras que dosis bajas y medias de radiación registraron conteos más elevados. Las distintas dosis de radiación UV-C permitieron mantener la calidad sensorial de los brotes. La apariencia y turgencia se mantuvieron dentro de los rangos “más que regular” a “buena”, la intensidad de color

dentro del rangos “bueno” a “muy bueno” y la presencia de sabores extraños dentro de los rangos “sin sabor” a “muy suave”, dentro de los límites permitidos

**Palabras clave:** brotes de alfalfa, radiación ultravioleta, hipoclorito de sodio, mínimo proceso.

## ABSTRACT

The minimally processed fresh vegetables (MPF) industry commonly uses sodium hypochlorite (NaClO) washings to reduce the microbial load. However, it generates harmful by-products to health. Therefore, it is necessary to study new emerging and sustainable technologies such as the UV-C radiation.

The aim of this study was to evaluate the effect of applying different UV-C radiation doses on the quality of germinated alfalfa in modified atmosphere packaging. Two trials were conducted using low and high permeability bags. The germinated alfalfa was washed with water and treated with 0.35, 5.26, 10.18, 15.09 and 20.01 kJ m<sup>-2</sup> UV-C doses. Then, the germinated alfalfa was packed in modified atmosphere and stored at 5 °C for 8 d. Control outbreaks were washed with NaClO (100 mg L<sup>-1</sup>) and packaged in the same way. The respiration rate, atmosphere composition, colour, microbiological and sensory quality were evaluated.

The combination of UV-C radiation with low permeability bags was not effective in maintaining the germinated alfalfa quality. The respiration rate was not affected by the UV-C radiation doses. The atmosphere composition inside the bags showed values ranging from 19 to 23% CO<sub>2</sub> and 1.5% O<sub>2</sub> after 8 d, but it was not influenced by the different UV-C radiation doses. The treatments with NaClO and specially the treatment in perforated bag showed less enzymatic browning compared to germinated alfalfa treated with high UV-C doses (15.09 and 20.01 kJ m<sup>-2</sup>). Treatment with 20.01 kJ m<sup>-2</sup> doses reported the highest counts for mesophilic and psychophilic microorganisms, while enterobacteria, *Lactobacillus*, yeasts and fungi did not show significantly statistical differences between treatments and the values were within the legal permitted limits. The sensory quality of the germinated alfalfa did not differ significantly between treatments, but showed a clear deterioration beyond the set limits for acceptability, having a storage potential no longer than 4 or 5 d.

The bags of high permeability in conjunction with UV-C radiation were effective in maintaining the overall quality of germinated alfalfa. The respiration rate was not affected by the UV-C radiation doses. The internal atmosphere composition was 2 to 3% CO<sub>2</sub> and 4 to 8% O<sub>2</sub> after 8 d. Treatments with UV-C radiation doses at 10.18 and 20.01 kJ m<sup>-2</sup> allowed the outbreak colour to be preserved. However, germinated alfalfa treated at 20.01 kJ m<sup>-2</sup> had a deeper colour (higher C\*), while L and Hab stayed without statistical significantly differences. Doses at 15.09 and 20.01 kJ m<sup>-2</sup> provided an effective growth control for mesophilic, psychophilic, enterobacteria, fungi and yeasts, while low and medium UV-C radiation doses reported higher counts. Different UV-C radiation doses maintained the sensory quality of germinated alfalfa. Grades for appearance and turgidity ranged from "rather than regular" to "good", while colour intensity was graded as "good"

to "very good" and off flavours ranged from "no flavour" to "too soft", within the set permitted limits.

**Keywords:** alfalfa geminated, ultraviolet radiation, sodium hypochlorite, minimal processing.

## INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas se ubican en el segundo nivel de la pirámide nutricional siendo vehículo de sustancias bioactivas como vitaminas, minerales, fibras, compuestos antioxidantes, glucosinolatos y fitoesteroles (Maris, 2004). Debido a estas propiedades funcionales y “promotora de la salud”, son importantes elementos en la dieta diaria. Por esta razón es que se sugiere una ingesta de al menos 5 porciones de frutas y hortalizas al día para mejorar el bienestar general y reducir la morbimortalidad. Así, nace en EE.UU. el programa “5 al día” el cual está siendo implementado en Chile por la Corporación 5 al día, fundada en 2006 (Anónimo, 2009).

En Chile, el consumo per cápita de hortalizas alcanza los 107 kg/año (Escaff y Giaconi, 2008), ocupando un lugar destacado en el comercio nacional. De acuerdo al último Censo Agropecuario realizado en 2007, la superficie cultivada con hortalizas alcanzó a poco más de 95 mil há (INE, 2007) con una producción de 2,4 millones de toneladas, de los cuales 710 mil se destinan a la agroindustria. En materia de exportaciones, destaca la importante participación de las hortalizas procesadas alcanzando los US\$ 276 millones que se traducen en casi 210 mil toneladas, que incluye el producto fresco y las diversas formas de procesado (Aljaro, 2008).

Los cambios socioculturales de los últimos años han multiplicado la demanda de alimentos de consumo fácil y rápido. El factor determinante de las nuevas tendencias del consumo es el creciente interés por alimentos sanos, seguros, libres de aditivos, es decir, productos frescos o con características similares a los frescos y obtenidos de forma respetuosa con el medio ambiente. Si a esto se añade el aumento en el poder adquisitivo, el resultado es una creciente demanda de frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco (MPF) (Aguayo, 2003), que corresponden a frutas u hortalizas frescas, limpias, trozadas y envasadas para su consumo, los cuales mantienen gran parte de sus propiedades naturales y poseen una vida útil de 7 a 14 días bajo refrigeración (Aranceta y Pérez, 2006). Entre las ventajas del consumo de frutas y hortalizas MPF se encuentran evitar el lavado, pelado, cortado, etc., minimizando los tiempos empleados en la preparación de las comidas y los costos de transporte, ya que en estas operaciones se elimina entre un 40 a 50% de la materia prima original. Otras ventajas para su comercialización son el envasado que permite un mayor control de cada porción, reducción de los problemas de contaminación, menor demanda de espacio refrigerado, ampliar la variedad de productos ofertados con mezclas de ensaladas durante todo el año y excelente calidad y uniformidad listo para su consumo (Escalona y Luchsinger, 2008). Sin embargo, éste procesado parcial lesiona los tejidos disminuyendo drásticamente su vida útil. Con el propósito de reducir esta pérdida se utiliza refrigeración y el envasado en atmósfera modificada (EAM), que protegen el producto frente a posibles alteraciones mecánicas, microbiológicas y biológicas (Aguayo, 2003). El EAM implica el uso de películas plásticas con permeabilidades selectivas al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) y 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 gases

a través de la película (Kader, 2002). La pérdida de integridad celular tras el corte, provoca la ruptura de compartimientos poniendo en contacto enzimas y substratos. Esto genera el desarrollo de pardeamientos y la formación de metabolitos secundarios no deseados. Además, la senescencia se ve acelerada a causa del incremento en la actividad respiratoria y la emisión de etileno a causa del corte. Una elevada respiración puede ocasionar una mayor pérdida de ácidos, azúcares y otros compuestos que determinan el sabor y la calidad nutritiva de los productos. Además, incrementa la demanda de O<sub>2</sub> obligando a utilizar envases plásticos con una suficiente permeabilidad a éste gas para evitar una condición anaeróbica (Escalona y Luchsinger, 2008).

Durante el año 2004, el volumen producido por las empresas procesadoras de frutas y hortalizas MPF es de aproximadamente 250 mil toneladas al mes, no existiendo datos oficiales. Esta producción la lideran fundamentalmente las empresas Dole, Apóstoles y Proverde, responsables del 70% de la producción nacional. El 30% restante corresponde a alrededor de una decena de pequeñas empresas dedicadas al rubro (Berger, 2004). Las especies utilizadas para hortalizas mínimamente procesadas en fresco son lechugas, repollo blanco y morado, apio, zanahoria, cebollas y mezclas. En menor escala se prepara también espinaca, brócoli, coliflor y betarraga (Berger, 2004).

Un tipo de producto que ha cobrado especial interés durante el último tiempo son los germinados, tal como los brotes de alfalfa (*Medicago sativa* L.), perteneciente a la familia Fabaceae originaria de Asia e Irán, utilizada con varios propósitos en Chile, como mejoramiento de suelos, alimentación animal, usos medicinales (Akbar y Razavizadeh, 2005) y para alimentación humana. Los brotes son bajos en grasas saturadas y sodio. Es una buena fuente de proteínas, vitamina A, tiamina, ácido pantoténico, calcio y hierro; son ricos en fibra dietética, vitamina C, vitamina K, riboflavina, folato, magnesio, fósforo, zinc, cobre y manganeso (USDA, 2008). Además, los brotes han adquirido mayor atención debido a su alto contenido de fitoquímicos involucrados en la protección contra enfermedades degenerativas (Fahey y Stephenson, 2007).

Las hortalizas MPF proporcionan un medio apropiado para el desarrollo microbiano, debido a su pH, mayor a 4,5, pudiendo ser alteradas por hongos y/o bacterias, a raíz de contaminaciones en los procesos de elaboración (incluyendo contaminación en el campo) o medidas inadecuadas de refrigeración. Generando no tan sólo una disminución en la vida útil del producto (Soylemez *et al.*, 2001), sino además, produce un incremento en la proliferación de microorganismos patógenos (Artés-Hernández *et al.*, 2009) responsables de la calidad microbiológica del producto (Pascual y Calderón, 2000). Para disminuir la carga microbiana inicial en hortalizas, se realiza comúnmente un lavado con hipoclorito de sodio (NaClO) en concentración de 100-150 mg L<sup>-1</sup> a pH 6,5, como tratamiento de sanitización. Sin embargo, al reaccionar con la materia orgánica, el NaClO forma cloro gaseoso, además de cloraminas y trihalometanos de posible acción cancerígena (Silveira *et al.*, 2008). Por otra parte, si el pH del agua es menor a 6, puede formarse cloro gaseoso, que puede resultar tóxico para los operarios. Es por ésta razón, que existe la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías emergentes y sostenibles. La radiación UV-C es una técnica utilizada como una alternativa a la desinfección con agentes químicos y la reducción de

microorganismos en productos alimenticios. La radiación ultravioleta posee propiedades germicidas en un rango de longitudes de onda de 200 a 280 nm. A bajas dosis, la radiación UV-C no forma subproductos y es efectiva sobre una gran variedad de microorganismos (Sharma y Dermici, 2003). El mecanismo de inactivación por radiación UV-C se atribuye a la formación de dímeros de pirimidina, los cuales distorsionan la doble hélice de ADN, bloqueando la replicación de la célula a la transformación de las bases pirimidinas en el ADN de bacterias, virus y otros patógenos (Lado y Yousef, 2002). Además de su empleo para detener el deterioro ocasionado por el crecimiento de patógenos, la radiación UV-C ha sido evaluada como tratamiento para retardar el avance de los procesos de senescencia (ablandamiento, cambios de color, etc.) en productos como tomate, hojas de lechuga y espinaca, cítricos, duraznos, zanahorias, manzanas, uvas y frutillas. Su efecto se produce a nivel genético y de esta forma afecta el metabolismo de los productos. Como por ejemplo, en frutillas, la aplicación de  $0,25 \text{ kJ m}^{-2}$  redujo la tasa respiratoria en un 70% durante los 2 días de conservación refrigerada en relación al testigo (Baka *et al.*, 1999). Por otra parte, el ablandamiento es uno de los procesos característicos de la maduración y senescencia de los frutos que es afectado por la radiación UV-C, a través de su acción sobre las enzimas responsables del mismo. Los tomates tratados con radiación UV-C en dosis de  $3,7 \text{ kJ m}^{-2}$  mantuvieron la firmeza de la pulpa como consecuencia de la disminución de la degradación de la pared celular al afectar la actividad de las enzimas que participan en el proceso (Barka *et al.*, 2000). Sin embargo, un exceso en la dosis de radiación UV-C sobre el producto, puede alterar la permeabilidad de la pared celular aumentando la salida de electrolitos, aminoácidos e hidratos de carbono, que pueden derivar en un aumento del crecimiento microbiano (Artés-Calero *et al.*, 2009). Es así como durante los últimos años se han desarrollado diversos estudios acerca de la aplicación de éste tratamiento en productos hortícolas.

Los autores Allende y Artés (2003a), estudiaron el efecto de la radiación UV-C con dosis desde  $0,4$  a  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$  sobre la calidad de ensaladas de lechuga *Lollo Rosso*, conservadas 10 días a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , observaron un incremento significativo en la tasa respiratoria de las lechugas irradiadas, debido probablemente al estrés del tratamiento. Éste aumento en la tasa respiratoria redujo las concentraciones de  $\text{O}_2$  al interior de las bolsas en aquellos tratamientos sometidos a dosis más elevadas. Las dosis estudiadas redujeron los recuentos de bacterias psicrófilos, coliformes y levaduras. Esta reducción fue significativa cuando la dosis aplicada fue de  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$  comparada con el testigo sin irradiar. Las dosis de  $2,44$  a  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$  lograron reducir significativamente el pardeamiento sobre la superficie de corte de las hojas.

En un trabajo posterior, Allende *et al.* (2006), estudiaron la eficacia de la radiación UV-C, aplicado sobre dos caras de hojas *Red Oak Leaf* y almacenadas 10 días a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . En éste estudio se aplicaron dosis de  $1,18$ ;  $2,37$  y  $7,11 \text{ kJ m}^{-2}$ . Al igual que en el estudio anterior, se observó un aumento de la tasa respiratoria de las lechugas, afectando la composición en el interior de las bolsas. Las dosis aplicadas fueron efectivas para reducir la microflora natural del producto, sin embargo, las hojas tratadas con  $7,11 \text{ kJ m}^{-2}$  presentaron una mayor inhibición microbiana. Al mismo tiempo, esta dosis fue la única que indujo un mayor ablandamiento, presentando además un pardeamiento superficial acusado al final del

periodo de almacenamiento. Por lo que ha demostrado ser efectiva sobre la calidad sensorial y funcional (Robles *et al.*, 2007), y en la disminución de los recuentos microbiológicos en diversas frutas y hortalizas (González *et al.*, 2007).

### **Hipótesis**

Es posible reducir los recuentos microbiológicos en brotes de alfalfa (*Medicago sativa* L.) mediante la aplicación de distintas dosis de radiación UV-C sin deteriorar la calidad del producto.

### **Objetivo**

Evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre la tasa respiratoria, el color, calidad microbiológica y sensorial en brotes de alfalfa envasados en atmósferas modificadas (AM) y almacenados a 5 °C.

Esta memoria de título fue financiada por el Proyecto Fondecyt N° 1090059.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de estudio

Los ensayos se desarrollaron durante el año 2009 en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) y en los laboratorios de Evaluación Sensorial y Análisis Microbiológicos del Departamento de Agroindustria y Enología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, localizados en Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana, RM. Su ubicación geográfica es 33° 34' lat. Sur y 70° 38' long. Oeste.

### Materiales

Se utilizaron brotes de alfalfa (*Medicago sativa* L.), proporcionados por la empresa “Más Vida S.A”, ubicada en Camino a Lonquén, Calera de Tango, Región Metropolitana. El método de producción se resume en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Especificaciones de producción en cultivo de brotes de alfalfa.

Ítem	Brotos de alfalfa
Tipo de cultivo	Hidropónico, en cámaras climatizadas
Forma de cosecha	Retiro completo del brote, sin corte
Condiciones de cultivo	18-20 °C y 90% HR
Tiempo de siembra a cosecha	7 días

En los ensayos se utilizaron bolsas de 270 cm<sup>2</sup> confeccionadas con películas plásticas, modelo BBL4 para el Ensayo 1 y modelo PD-961EZ para el Ensayo 2, seleccionadas de acuerdo a los cálculos realizados y presentados más adelante. Estos envases se diferenciaban en sus características de permeabilidad frente al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> (Cuadro 2). Las películas plásticas fueron proporcionadas por Cryovac®, Sealed Air Corporation, Chile.

**Cuadro 2.** Valores de transmisión de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> (mL m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>).

Bolsa	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
BB4L	50-150 (1 atm, 23 °C)	3-6 (1 atm, 23 °C)
PD-961EZ	19000-22000 (1 atm, 23 °C)	6000-8000 (1 atm, 23 °C)

Valores proporcionados por el proveedor (Cryovac®, Sealed Air Corporation).

Para los análisis microbiológicos se utilizaron los siguientes medios nutritivos: Plate Count Agar (PC) (Difco, Estados Unidos), Agar Eosin Metil Blue (EMB) (Oxoid, Reino Unido),

Agar Papa Dextrosa (PD) (Oxoid, Reino Unido) y Agar Man Rogosa (MRS) (Oxoid, Reino Unido).

### **Diseño Experimental**

Se realizaron 2 ensayos independientes, variando sólo la permeabilidad de las bolsas utilizadas. El diseño experimental fue completamente al azar con 7 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento (Cuadro 3). La unidad experimental correspondió a una bolsa con 50 g de brotes de alfalfa.

### **Metodología**

En la Figura 1 se indican las etapas aplicadas en los brotes de alfalfa para mínimo proceso, que se detallan a continuación y son válidas para los 2 ensayos realizados.

#### **Recolección, transporte, y almacenamiento**

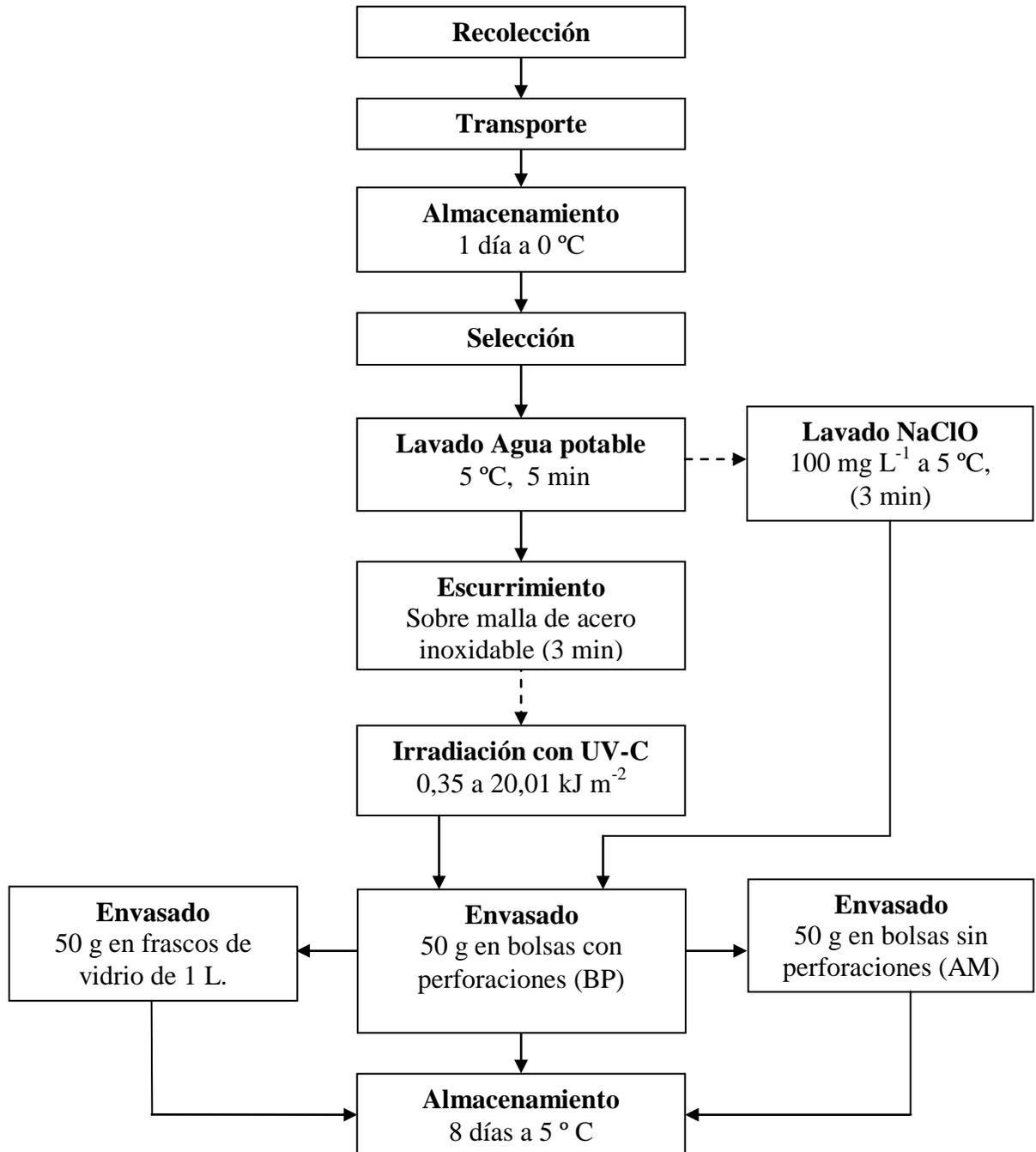
En los ensayos realizados, los brotes se recolectaron manualmente a primera hora de la mañana y transportaron inmediatamente al laboratorio del CEPOC en un camión refrigerado.

Una vez recepcionados los brotes, se almacenaron por 1 día a 0 °C, para disminuir su temperatura hasta el procesamiento (Artés-Calero *et al.*, 2009).

#### **Selección**

Posterior al almacenamiento las operaciones se realizaron a 8 °C en el interior de una cámara acondicionada (aislada, limpia e higienizada).

Se realizó una selección visual de la materia prima eliminando aquellas que presentaban: un color no característico (amarillamiento u otro), baja turgencia (pérdida de agua), contaminación con agentes externos (metales, insectos, etc.), daño físico, podredumbre, etc. (Wiley, 1994) (Figura 2).



**Figura 1.** Diagrama de flujo para la producción de brotes de alfalfa MPF.

Líneas continuas: Etapas realizadas de forma general; Líneas discontinuas: Etapas que sólo se realizaron en algunos tratamientos.



**Figura 2.** Selección de los brotes para su procesamiento.

### **Lavado**

Los brotes se lavaron por inmersión en agua potable a 5 °C por 5 min. Los tratamientos 1 y 2 (testigo), fueron además lavados por inmersión durante 3 min en una solución de NaClO (100 mg L<sup>-1</sup>) a 5 °C (Figura 3).



**Figura 3.** Lavado de los brotes con agua potable y NaClO (100 mg L<sup>-1</sup>).

### **Secado**

Posterior al lavado los brotes se escurrieron sobre una malla de acero inoxidable por 3 min, con el propósito de eliminar el exceso de agua en el producto antes de su envasado (Figura 4).



**Figura 4.** Escurrimiento de los brotes sobre malla de acero inoxidable.

### Aplicación de radiación UV-C

La aplicación se realizó en una mesa emisora de radiación UV-C que consta de 2 hileras de 3 lámparas germicidas sin filtro (TUV 36W/G36 T8, Philips, Holanda) dispuestas de forma horizontal en la parte superior e inferior de la mesa. A 0,24 m de las lámparas, se ubicaron los brotes sobre una malla de acero inoxidable de 0,6275 m<sup>2</sup> cubierta con una película de EVA Plastialusa (Alusa S.A., Chile) (Figura 5).

El resumen de los tratamientos y las distintas dosis de radiación UV-C utilizadas, se exponen en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Descripción de los tratamientos aplicados sobre brotes de alfalfa.

Tratamiento	Lavado con NaClO	Dosis de UV-C (kJ m <sup>-2</sup> )	Tipo de envase
1	100 mg L <sup>-1</sup>	SA	Bolsa perforada (BP)
2	100 mg L <sup>-1</sup>	SA	Bolsa (AM)
3	SA	0,35	Bolsa (AM)
4	SA	5,26	Bolsa (AM)
5	SA	10,18	Bolsa (AM)
6	SA	15,09	Bolsa (AM)
7	SA	20,01	Bolsa (AM)

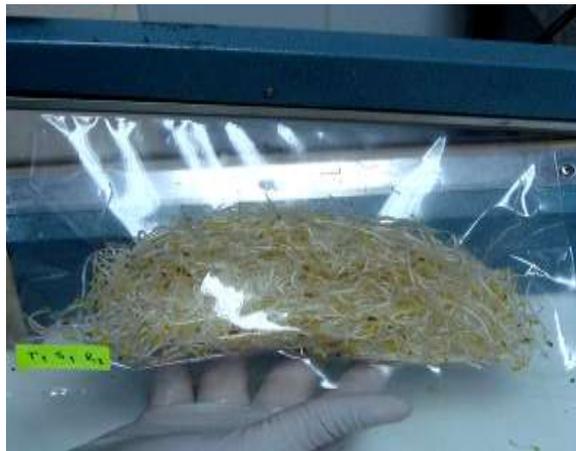
AM: Atmósfera modificada.; SA: Sin aplicación.



**Figura 5.** Uso de radiación UV-C en brotes de alfalfa.

### **Envasado**

Se envasaron 50 g. El tratamiento 1 lavado con NaClO fue envasado en bolsas perforadas (BP) (7 perforaciones de 0,7 mm de diámetro) simulando la concentración gaseosa de la atmósfera ( $< 1\% \text{ CO}_2$  y  $> 19\% \text{ O}_2$ ) y alta humedad relativa. Los otros tratamientos (NaClO y UV-C) se envasaron en bolsas sin perforaciones (AM). Se extrajo manualmente el exceso de aire del interior de las bolsas, presionándolas levemente y se sellaron con un equipo termosellador Impulse Sealer (Tew Equipment Co., Taiwan). Las bolsas se almacenaron en una cámara de frío, sobre bandejas de plástico enrejadas, durante 8 días a  $5^\circ\text{C}$  (Figura 6).



**Figura 6.** Envasado y sellado de bolsas con brotes de alfalfa.

## Determinación de los parámetros fisiológicos, sensoriales y microbiológicos

Las evaluaciones de los brotes se realizaron los días 1, 4 y 8.

### Tasa respiratoria

Se determinó la tasa respiratoria ( $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) en todos los tratamientos utilizando el método estático (Kader, 2002). Se colocaron 50 g de muestra en frascos de vidrio de 1 L cerrados herméticamente. Los frascos se encontraban provistos de un septum de silicona en su tapa a través del cual se tomaron muestras gaseosas de 10 mL del espacio de cabeza tras 2 h de cerrados los frascos, para conocer la cantidad de  $\text{CO}_2$  acumulado. La composición del espacio de cabeza se monitoreó mediante un cromatógrafo de gases 5890 series II (Hewlett Packard, EE.UU.), provisto de un detector de conductividad térmica, con una columna Porapak Q (Waters, Milford MA, USA) con una temperatura de horno e inyector de  $50^\circ\text{C}$  y de detector de  $200^\circ\text{C}$ . La tasa respiratoria fue objeto de seguimiento en cada salida.

Para determinar los mL de  $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  se emplearon las siguientes expresiones (Kader, 2002).

Método estático:

$$\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \frac{\Delta \text{CO}_2\%}{100} \cdot \frac{\text{Volumen libre (mL)}}{\text{Peso de la muestra (kg)}} \cdot \frac{1}{\text{Tiempo (h)}}$$

Para convertir los mL de  $\text{CO}_2$  a mg se multiplicaron los mL por el factor 1,94, específico para la temperatura utilizada ( $5^\circ\text{C}$ ) (Kader, 2002).

La calibración del cromatógrafo de gases se realizó empleando muestras tomadas de un patrón conocido, con una concentración de 10%  $\text{CO}_2$  y 5%  $\text{O}_2$  (INDURA, Chile).

### Composición gaseosa en el interior de las bolsas

Se determinaron las concentraciones de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  del interior de las bolsas con y sin perforaciones, tomando 10 mL de muestra a través de la película plástica, siendo sellada con una cinta adhesiva para mantener la permeabilidad de la bolsa. Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases 5890 series II (Hewlett Packard, EE.UU.) siguiendo la metodología descrita anteriormente.

## Color

El color de los brotes se midió con un colorímetro compacto triestímulos CR-300 (Kónica Minolta, Japón). El color se expresó en los parámetros luminosidad (L), saturación (C\*) y tono (Hab), calculados a partir de las siguientes formulas:  $Hab = \arctan (b^*/a^*)$  y  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  (Manresa y Vicente, 2007). Para esto, se realizaron mediciones de cada bolsa, tomando una muestra de brotes que se dispusieron en placas de Petri, cubriéndola completamente para evitar las interferencias de color con la superficie de apoyo subyacente. La medición se realizó en 5 puntos diferentes de la placa directamente sobre los brotes (Figura 7).



**Figura 7.** Medición de color de los brotes de alfalfa.

## Análisis microbiológico

Se tomaron muestras de 10 g de brotes por bolsa, mezclándolos con 90 mL de agua peptonada estéril durante 1 min dentro de una bolsa estéril, empleando un homogeneizador Masticador Classic (IUL instruments, España), obteniéndose diluciones decimales de  $10^{-1}$  a  $10^{-4}$ . Estas diluciones se sembraron por duplicado. Los medios nutritivos y las temperaturas de incubación para cada microorganismo se presentan en el Cuadro 4. Para conocer la cantidad de microorganismos viables presentes se utilizó el recuento total en placa, siendo expresado como el logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo ( $\log ufc g^{-1}$ ) (Bourgeois y Mesclé, 1994).

**Cuadro 4.** Medios de cultivo y condiciones de incubación.

Microorganismo	Medio de cultivo	Condiciones de incubación (Tiempo (días)–temperatura(°C))
Mesófilos	Plate Count Agar (PCA)	2-37
Psicrófilos	Plate Count Agar (PCA)	7-5
Enterobacterias	Eosin Metil Blue (EMB)	2-37
Hongos y Levaduras	Agar Papa Dextrosa (PDA) <sup>z</sup>	5-22
<i>Lactobacillus</i>	Man rogosa y Sharpe (MRS)	2-37 (doble capa)

Fuente: Bourgeois y Mescle, 1994.

<sup>z</sup>: Acidificado a pH 3,5 ± 0,1 con ácido láctico al 1%.

### Análisis sensorial

Se utilizó el método de análisis descriptivo-cuantitativo, aplicado a un panel de 12 jueces semi-entrenados, conocedores de las características sensoriales del producto. Las muestras se presentaron dentro de pocillos de cerámica blancos, rotulados con una numeración de 3 dígitos específica para cada muestra. Se evaluó la apariencia, intensidad de color, turgencia y presencia de sabores extraños, usando una escala lineal de intensidad no estructurada, de 0 a 15 cm, según la norma española (UNE 87-020-93) (Aenor, 1997). La interpretación de los datos obtenidos se realizó de acuerdo a los rangos presentados en la cuadro 5 y 6.

**Cuadro 5.** Tabla de interpretación para apariencia, turgencia y presencia de sabores extraños en escala lineal no estructurada.

Apariencia y turgencia (valor en cm/apreciación)		Presencia de sabores extraños (valor en cm/apreciación)	
0 – 1,75	Muy mala	0 – 1,75	Sin sabor
1,76 – 3,50	Mala	1,76 – 3,50	Muy suave
3,51 – 5,24	Deficiente	3,51 – 5,24	Suave
5,25 – 6,99	Menos que regular	5,25 – 6,99	Levemente suave
7,00 – 7,99	Regular	7,00 – 7,99	Moderado
8,00 – 9,75	Más que regular	8,00 – 9,75	Levemente alto
9,76 – 11,50	Buena	9,76 – 11,50	Alto
11,51 – 13,25	Muy buena	11,51 – 13,25	Muy alto
13,26 – 15,00	Excelente	13,26 – 15,00	Extremadamente alto

Fuente: Araya, 2006.

**Cuadro 6.** Tabla de interpretación para intensidad de color en escala lineal no estructurada.

Intensidad de color (valor en cm/apreciación)	
0 – 0,94	Negativo
0,95 – 1,88	Ordinario
1,89 – 3,75	Insuficiente
3,76 – 7,50	Suficiente
7,51 – 11,25	Bueno
11,26 – 13,13	Muy bueno
13,14 – 15,0	Excelente

Fuente: Araya, 2006.

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se evaluaron mediante análisis de varianza (ANDEVA) utilizando el software estadístico JMP 8.0. En caso de existir diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó el test de comparaciones de TUKEY al 5%.

### **Diseño del envase para brotes de alfalfa**

Existe poca información en relación a la conservación de brotes de alfalfa, sin embargo investigaciones realizadas por Suslow y Cantwell (1996), en poroto chino demostraron que atmósferas con 3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% CO<sub>2</sub> ayudan a mejorar la calidad durante el tiempo de conservación.

Según Kader (2002), los brotes de poroto se clasificarían de acuerdo a su tasa respiratoria como “muy alta”, es decir, entre 40 a 60 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5 °C, siendo similar a los brotes de alfalfa.

El envase para EAM debe diseñarse cuidadosamente, ya que el diseño incorrecto puede ser inefectivo e incluso acortar la vida útil del producto. El diseño depende de una serie de variables, tanto del producto como de la película plástica utilizada.

Mediante la aplicación de un modelo matemático planteado por Artés (1976), fue posible determinar la permeabilidad al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> que debiera tener la bolsa a utilizar (Aguayo, 2003).

**Para O<sub>2</sub>**

$$R_{O_2} \cdot M = S \cdot P_{O_2} \cdot (0,21 - [O_2]_{env}) \cdot \frac{1}{24}$$

$$P_{O_2} = \frac{R_{O_2} \cdot M \cdot 24}{S \cdot (0,21 - [O_2]_{env})} \quad (1)$$

Siendo:

R<sub>O<sub>2</sub></sub>: actividad respiratoria O<sub>2</sub> consumido (mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

M: peso del producto (kg)

S: superficie total del envase (m<sup>2</sup>)

0,21: concentración de O<sub>2</sub> atmosférico (%)

[O<sub>2</sub>]<sub>env</sub>: concentración de O<sub>2</sub> en el interior del envase (%)

1/24: conversión de horas a días (d/h)

P<sub>O<sub>2</sub></sub>: permeabilidad al O<sub>2</sub> de la película plástica (mL m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

**Para CO<sub>2</sub>**

$$R_{CO_2} \cdot M = S \cdot P_{CO_2} \cdot [CO_2]_{env} \cdot \frac{1}{24}$$

$$P_{CO_2} = \frac{R_{CO_2} \cdot M \cdot 24}{S \cdot [CO_2]_{env}} \quad (2)$$

Siendo:

R<sub>CO<sub>2</sub></sub>: tasa respiratoria CO<sub>2</sub> producido (mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

M: peso del producto (kg)

S: superficie total del envase (m<sup>2</sup>)

[CO<sub>2</sub>]<sub>env</sub>: concentración de CO<sub>2</sub> en el interior del envase (%)

1/24: conversión de horas a días (d/h)

P<sub>CO<sub>2</sub></sub>: permeabilidad al CO<sub>2</sub> de la película plástica (mL m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

Para los cálculos de permeabilidad se utilizó una tasa respiratoria de a 60 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5 °C. Para convertir los mL de CO<sub>2</sub> a mg se multiplicaron los mL por 1,94 específico para la temperatura utilizada (5 °C) (Kader, 2002). Se envasaron 50 g de brotes en bolsas de 0,027 m<sup>2</sup>. Se consideró como concentración adecuada para mantener la calidad de los brotes entre un 3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% CO<sub>2</sub>.

**Calculo de permeabilidad:**

- tasa respiratoria: 60 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (30,92 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

- concentración esperada de CO<sub>2</sub>: 10-15%
- concentración esperada de O<sub>2</sub>: 3-5%
- peso del producto: 50 g
- superficie total del envase: 0,054 m<sup>2</sup>

### **Permeabilidad al O<sub>2</sub>**

Sustituyendo los valores en la formula (1) se obtiene:

$$P_{O_2(3\%)} = \frac{30,92 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \cdot 0,05 \text{ kg} \cdot 24}{0,054 \text{ m}^2 \cdot (0,21 - 0,03)}$$

$$P_{O_2(3\%)} = 4122,6 \text{ mL m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$P_{O_2(5\%)} = \frac{30,92 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \cdot 0,05 \text{ kg} \cdot 24}{0,054 \text{ m}^2 \cdot (0,21 - 0,05)}$$

$$P_{O_2(5\%)} = 4295,5 \text{ mL m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

### **Permeabilidad al CO<sub>2</sub>**

Sustituyendo los valores en la formula (2) se obtiene:

$$P_{CO_2(10\%)} = \frac{30,92 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \cdot 0,05 \text{ kg} \cdot 24}{0,054 \text{ m}^2 \cdot 0,10}$$

$$P_{CO_2(10\%)} = 6871,1 \text{ mL m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$P_{CO_2(15\%)} = \frac{30,92 \text{ mL kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \cdot 0,05 \text{ kg} \cdot 24}{0,054 \text{ m}^2 \cdot 0,15}$$

$$P_{CO_2(15\%)} = 4581,9 \text{ mL m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

Para los ensayos se utilizaron dos tipos de bolsas disponibles modelos BB4L y PD-961EZ Cryovac®, de baja y alta permeabilidad, con la finalidad de corroborar los cálculos de permeabilidad realizados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo 1

#### Tasa respiratoria

Todos los tratamientos con dosis de radiación UV-C aumentaron su tasa respiratoria durante el periodo de conservación, con valores en un rango de 47,1 a 61,7 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, mientras que el tratamiento con NaClO (testigo) registró valores de 55,6 a 56,7 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 8). En el día 1 los brotes tratados con NaClO y dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> indujeron valores significativamente mayores con 55,6 y 56,3 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, en comparación a los tratamientos restantes que presentaron valores en un rango de 47,1 a 51,9 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Tras 4 días no se registraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, con valores en un rango de 56,7 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> el tratamiento NaClO a 47,5 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> el tratamiento con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup>.

Luego de 8 días no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, los brotes tratados con radiación UV-C presentaron un ligero incremento de la tasa respiratoria en un rango de 61,3 a 62,0 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, siendo el tratamiento con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> el que registró el valor más alto. El tratamiento con NaClO registró la tasa respiratoria más baja con 56,3 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

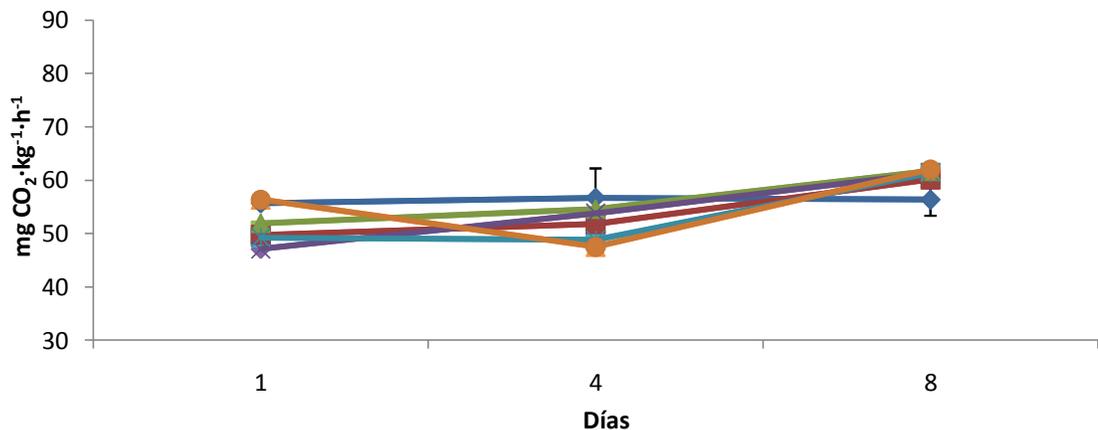
De acuerdo a los valores de tasa respiratoria durante el periodo de conservación, los brotes se encontrarían dentro de la clase “muy altos” (Kader, 2002). Por tanto, las dosis de radiación UV-C utilizadas no ocasionaron un estrés al producto, si bien las dosis más elevadas de radiación utilizadas, generaron un aumento en la tasa respiratoria, éste no fue significativo, obteniendo resultados similares al tratamiento con NaClO. Diversos autores atribuyen a la radiación UV-C el retraso en los procesos de maduración y senescencia, debido probablemente al retardo en la degradación de la pared celular (Lu *et al.*, 1991). Estos efectos podrían explicar la tasa respiratoria similar al tratamiento testigo. El incremento en la tasa respiratoria finalizado el periodo de conservación, puede deberse al aumento en la carga microbiana y/o a la senescencia propia del producto (Silveira *et al.*, 2008).

Con respecto al efecto de la radiación UV-C en la respiración de los productos, aparecen en la bibliografía resultados contradictorios.

Por ejemplo, contrario a lo observado en éste ensayo, Allende y Artés (2003b), estudiaron el efecto de la radiación UV-C sobre lechugas *Red Oak Leaf* aplicando dosis entre 0,40 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C. Los autores observaron un incremento de

la tasa respiratoria proporcional a la dosis más elevada de radiación, siendo estas diferencias significativas entre las dosis de 2,44 a 8,14  $\text{kJ m}^{-2}$ . Es así como el testigo lavado con NaClO obtuvo un valor de 49,6  $\text{mg CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  y de 77,4 a 90,0  $\text{mg CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  para las dosis de 2,44 a 8,14  $\text{kJ m}^{-2}$ . Estos valores serían causados por el estrés del tratamiento. Allende y Artés (2003a), en lechugas *Lollo Rosso* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14  $\text{kJ m}^{-2}$ , envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observaron como el testigo lavado con NaClO obtuvo un valor 40,9  $\text{mg CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  y de 61,6 a 81,0  $\text{mg CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  para las dosis de 2,44 a 8,14  $\text{kJ m}^{-2}$ . Por tanto, la radiación UV-C estimularía la tasa respiratoria generando un aumento en la producción de  $\text{CO}_2$ .

Sin embargo, Artés-Hernández *et al.* (2009), en hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de 4,54 a 11,35  $\text{kJ m}^{-2}$ , envasadas en AM por 13 días a 5 y 8 °C, encontraron una reducción en la respiración. Vicente *et al.* (2004), también encontraron una reducción en la tasa respiratoria en frutos del bosque tratados con dosis de 9,2  $\text{kJ m}^{-2}$ , en relación a los no tratados.



**Figura 8.** Evolución de la tasa respiratoria ( $\text{mg CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C.

(◆), NaClO; (■), 0,35  $\text{kJ m}^{-2}$ ; (▲), 5,26  $\text{kJ m}^{-2}$ ; (×), 10,18  $\text{kJ m}^{-2}$ ; (✱), 15,09  $\text{kJ m}^{-2}$ ; (●), 20,01  $\text{kJ m}^{-2}$ . Los valores son la media  $\pm$  EE (n=3).

### Composición gaseosa en el interior de las bolsas

En todos los tratamientos las concentraciones de  $\text{O}_2$  disminuyeron rápidamente durante el periodo de conservación, con valores en un rango de 1,1 a 1,2% en el día 1 de conservación. Tras 8 días, las concentraciones se encontraron en un rango de 1,3 a 1,5%, no registrando diferencias significativas entre tratamientos ni durante el periodo de conservación (Figura 9A).

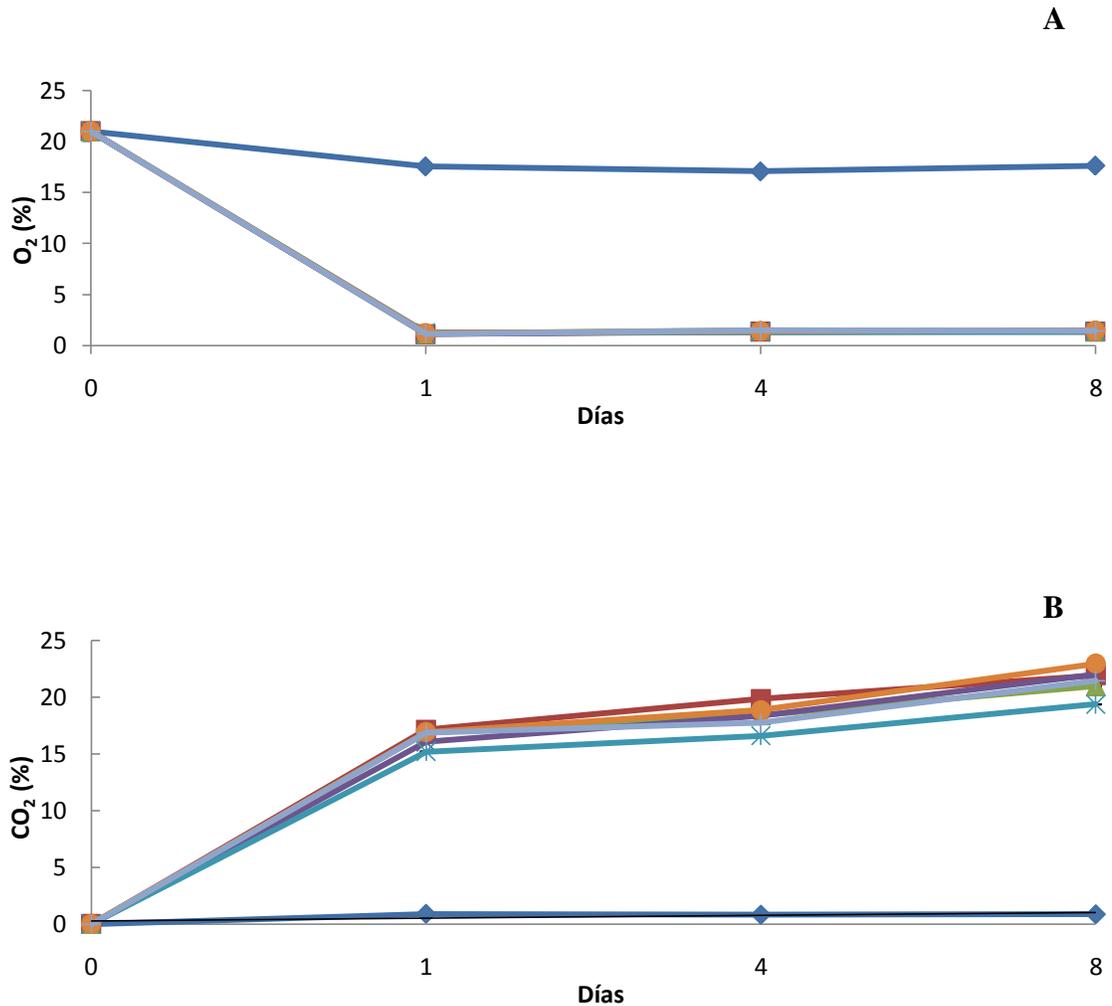
Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en todos los tratamientos aumentaron progresivamente durante el periodo de conservación (Figura 9B) hasta valores de 15,2 a 17,1% en el día 1 de conservación, sin diferencias significativas. Tras 4 días no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, con concentraciones de CO<sub>2</sub> en un rango de 16,5 a 19,8%. En el día 8 los brotes tratados con UV-C y NaClO (AM) alcanzaron concentraciones de CO<sub>2</sub> similares de 19,4 a 22,9% no registrando diferencias significativas entre tratamientos.

En el tratamiento con NaClO (BP) se registraron valores de 17,0 a 17,6% de O<sub>2</sub> y 0,8 a 0,9% CO<sub>2</sub> durante los 8 días de conservación, similar a la atmosfera del aire.

El aumento rápido de la concentración de CO<sub>2</sub> y disminución de O<sub>2</sub> se debió probablemente a la elevada tasa respiratoria de los brotes, además de la baja permeabilidad de la película plástica utilizada en éste ensayo.

Estos resultados coinciden con los observados por Allende y Artés (2003a) en lechugas *Lollo Rosso* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C. Las mayores dosis de radiación provocaron una mayor concentración de CO<sub>2</sub> dentro de las bolsas, en un rango de 9 a 11%. Similar a lo señalado por Allende y Artés (2003b), en lechugas *Red Oak Leaf* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, que alcanzaron valores entre 2 a 5% para O<sub>2</sub> y 10 a 12% CO<sub>2</sub>. Suslow y Cantwell (1996) demostraron que atmósferas con 3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% para CO<sub>2</sub> en tarrinas plásticas con ventilación limitada o en bolsas de película perforada, mejoran la calidad de brotes de poroto chino (*Vigna radiata* L.) durante la conservación, debido a que estas condiciones frenan la respiración, procesos vitales y reducen la pérdida de su calidad inicial.

Las concentraciones gaseosas al interior de las bolsas no registraron diferencias significativas entre tratamientos, no influyendo las distintas dosis de radiación UV-C utilizadas, en relación al tratamiento con NaClO. Si bien las películas plásticas de baja permeabilidad modificaron la atmósfera al interior del envase, éstas no lograron la concentración gaseosa deseada, difiriendo de los valores recomendados anteriormente por Suslow y Cantwell (3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% CO<sub>2</sub>).



**Figura 9.** Evolución de las concentraciones de O<sub>2</sub> (A) y CO<sub>2</sub> (B) en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C bajo AM.  
 (◆), NaClO (BP); (◻), NaClO (AM); (■), 0,35 kJ m<sup>-2</sup>; (▲), 5,26 kJ m<sup>-2</sup>; (×), 10,18 kJ m<sup>-2</sup>; (\*), 15,09 kJ m<sup>-2</sup>; (●), 20,01 kJ m<sup>-2</sup>. Los valores son la media ± EE (n=3).

## Color

**Luminosidad:** se observó una disminución significativa en el tiempo de conservación en los tratamientos con dosis de 0,35 y 5,26 kJ m<sup>-2</sup>, que registraron valores de 60,9 y 60,8 (día 1) hasta 57,7 y 57,0 (día 8) respectivamente, mientras que los tratamientos restantes no registraron diferencias significativas (Cuadro 7). La disminución de los valores indicaría un mayor pardeamiento. En el día 1 los tratamientos presentaron valores en un rango de 58,8 a

61,3 sin registrar diferencias significativas entre tratamientos. Tras 4 días no se registraron diferencias significativas entre tratamientos con valores en un rango de 60,0 a 61,8. En el día 8 los tratamientos registraron valores en un rango de 57,0 a 61,5 sin diferencias significativas entre estos.

**Saturación:** se observó un aumento de éste parámetro en todos tratamientos durante el tiempo de conservación, siendo significativo entre los días 1 y 4 con valores en un rango de 17,2 a 19,5 (día 1) hasta un rango de 21,0 a 24,0 (día 4) (Cuadro 7). Éste aumento demostraría el mayor pardeamiento reflejado en un color más intenso. En el día 1 los tratamientos presentaron valores de 17,2 a 19,5 sin registrar diferencias significativas entre tratamientos. En el día 4 los tratamientos no registraron diferencias significativas entre tratamientos con valores de 21,0 a 24,0. Tras 8 días el tratamiento NaClO (BP) alcanzó un valor de 21,3, significativamente inferior a los tratamientos con dosis de radiación más elevadas (10,18 a 20,01 kJ m<sup>-2</sup>) que registraron valores de 24,9 a 25,1.

**Tono:** en todos los tratamientos se observó una disminución significativa durante el tiempo de conservación, registrando valores en un rango de 106,2 a 108,7 (día 1) hasta 95,9 a 102,6 (día 8) (Cuadro 7). La disminución en estos valores se asociaría al aumento del color amarillo reflejando un mayor pardeamiento. En el día 1 los tratamientos no registraron diferencias significativas con valores de 106,2 a 108,7. Tras 4 días los tratamientos con dosis de 15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> registraron resultados significativamente inferiores, con valores de 99,1 y 99,0 respectivamente, en comparación a los tratamientos restantes. Luego de 8 días los brotes tratados con NaClO (BP y AM) registraron valores significativamente superiores a los brotes tratados con radiación UV-C que presentaron valores de 95,9 a 97,1.

El pardeamiento reflejado en la variación de los parámetros de color fue menor en el tratamiento con NaClO (BP), que mostró un producto más claro (mayor L) y menos amarillo (mayor tono). Mientras que los tratamientos peor evaluados fueron con dosis de radiación de 15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> envasados en AM. Por tanto, las dosis de radiación utilizadas en conjunto con el envasado bajo AM con películas de baja permeabilidad, no tuvieron un efecto positivo para mantener el color de los brotes.

Estos resultados difieren de datos de otros autores, quienes mencionan un efecto positivo de la radiación UV-C para retrasar la maduración y senescencia de los productos vegetales, incluyendo la mantención del color, puesto que la degradación de los pigmentos está vinculada a ellos (Silveira *et al.*, 2008). Según Allende y Artés (2003a, b) que estudiaron el efecto de la radiación UV-C sobre lechugas *Lollo Rosso* y *Red Oak Leaf* aplicando dosis entre 0,4 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observaron que las dosis mayores de radiación (4,07 y 8,14 kJ m<sup>-2</sup>) proporcionaron un menor pardeamiento de los tejidos manteniéndose aceptables para el consumo hasta por 10 días. Similar a lo señalado por Costa *et al.* (2005), en cabezas de brócoli tratadas con radiación UV-C en dosis de 4 a 14 kJ m<sup>-2</sup>, almacenadas por 6 días a 20 °C, quienes publicaron que la radiación UV-C afectó la luminosidad del brócoli, aumentando durante el almacenamiento sólo en floretes no radiados y registrando además un menor descenso en los valores de tono luego de 4 días a 20 °C.

Por el contrario Artés-Hernández *et al.* (2009), en hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de 4,54 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 13 días a 5 y 8 °C, observaron que dosis más altas (7,94 y 11,35 kJ m<sup>-2</sup>) disminuyeron significativamente los valores de L, oscilando entre un 10 a 15%, no obstante en todos los tratamientos se registró una ligera disminución en los valores de saturación, disminuyendo el verdor e incrementando el amarillo, mientras que los valores de tono se mantuvieron constantes durante la vida útil.

Por otro lado, el tipo de envasado pudo generar diferencias. Diversos autores señalan el efecto benéfico del uso adecuado de la AM, pero en ocasiones resulta ser nociva para el producto, agravando ciertos desordenes fisiológicos, maduración anormal, entre otros (Artés-Hernández, 2007). Los autores Suslow y Cantwell (1996), observaron en brotes de poroto chino (*Vigna radiata* L.) conservados en AM que contienen 5% O<sub>2</sub> y 15% CO<sub>2</sub> por 5 días a 8 °C, una reducción en el pardeamiento y un retraso en la viscosidad de los brotes. Estas afirmaciones contrastan con lo observado por Martínez-Sánchez *et al.* (2006), quienes observaron que el color y la calidad visual en rúcula lavada con diferentes sanitizantes se vio más afectada en las muestras almacenadas en AM que en las muestras almacenadas bajo aire.

**Cuadro 7.** Evolución del color (L, C\* y Hab) en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C bajo AM.

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Luminosidad (L)</b>			
Agua + NaClO (BP)	61,3 ± 0,8 Aa <sup>z</sup>	60,0 ± 0,7 Aa	61,5 ± 0,8 ABa
Agua + NaClO + AM	58,8 ± 0,9 Aa	61,8 ± 1,1 Ab	58,4 ± 0,6 ABa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,9 ± 0,9 Ab	61,3 ± 0,9 Ab	57,7 ± 0,8 Aa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,8 ± 0,5 Ab	60,2 ± 0,8 Ab	57,0 ± 0,9 Aa
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	59,5 ± 0,9 Aab	61,0 ± 0,8 Ab	57,5 ± 0,6 Aa
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,1 ± 0,5 Aab	61,7 ± 0,8 Ab	58,3 ± 1,0 ABa
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,1 ± 0,7 Aa	61,7 ± 0,7 Aa	59,7 ± 0,7 ABa
<b>Saturación (C*)</b>			
Agua + NaClO (BP)	17,8 ± 0,5 Aa	21,0 ± 1,2 Ab	21,3 ± 0,8 Ab
Agua + NaClO + AM	19,5 ± 0,8 Aa	20,6 ± 0,7 Aab	22,4 ± 0,6 ABb
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	18,1 ± 1,1 Aa	22,1 ± 0,7 ABb	23,9 ± 0,8 ABb
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	18,5 ± 0,7 Aa	24,0 ± 0,9 ABb	24,0 ± 0,7 ABb
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	17,2 ± 0,9 Aa	22,7 ± 0,7 ABb	24,9 ± 0,9 Bb
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	18,1 ± 0,7 Aa	23,8 ± 0,8 ABb	25,1 ± 0,9 Bb
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	18,8 ± 0,9 Aa	23,4 ± 0,9 ABb	25,1 ± 0,8 Bb

(Continúa)

Cuadro 7: (Continuación)

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Tono (Hab)</b>			
Agua + NaClO (BP)	108,7 ± 0,6 Ab	106,2 ± 0,6 Da	102,6 ± 0,5 Ca
Agua + NaClO + AM	107,3 ± 0,6 Ac	105,0 ± 0,6 CDb	100,0 ± 0,6 Ca
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	108,5 ± 0,5 Ac	101,9 ± 0,8 Bd	97,1 ± 0,6 ABa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	107,5 ± 0,5 Ac	100,8 ± 0,4 ABb	96,2 ± 0,6 Aa
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	108,0 ± 0,7 Ac	102,5 ± 0,8 BCb	96,0 ± 0,9 Ba
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	106,8 ± 0,5 Ac	99,1 ± 0,7 Ab	95,9 ± 0,9 Aa
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	106,2 ± 0,5 Ac	99,0 ± 0,4 Ab	96,0 ± 0,6 Aa

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan verticalmente y minúsculas comparan horizontalmente, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Los valores son la media ± EE (n=15).

### Análisis microbiológico

En el Ensayo 1 se realizó un análisis microbiológico sólo en el día 1 para cuantificar el efecto inicial de la radiación UV-C sobre la calidad microbiológica de los brotes (Cuadro 8).

**Mesófilos:** el tratamiento con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> presentó recuentos significativamente superiores con 4,6 log ufc g<sup>-1</sup> en comparación a los tratamientos restantes que presentaron conteos en un rango de 2,0 a 3,5 log ufc g<sup>-1</sup>.

**Psicrófilos:** el tratamiento con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> registró conteos > 5 log ufc g<sup>-1</sup>, los tratamientos restantes presentaron recuentos en un rango de 2,0 a 4,5 log ufc g<sup>-1</sup>.

**Enterobacterias:** el tratamiento con dosis de 5,26 kJ m<sup>-2</sup> presentó el valor significativamente más alto de 3,5 log ufc g<sup>-1</sup>, los tratamientos restantes presentaron conteos en un rango de 1,2 a 3,0 log ufc g<sup>-1</sup>.

**Hongos y levaduras:** los recuentos en todos los tratamientos fueron < 1 log ufc g<sup>-1</sup>.

**Lactobacillus:** los recuentos en todos los tratamientos fueron < 1 log ufc g<sup>-1</sup>.

De acuerdo a las normas microbiológicas del Ministerio de Salud de Chile, para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados listos para consumo, el límite máximo permitido para mesófilos es de 5,69 log ufc g<sup>-1</sup>, mientras que para enterobacterias es de 4,69 log ufc g<sup>-1</sup> (Anexo 2), por lo cual todos los tratamientos cumplirían la norma, con el grado de calidad "aceptable".

Los tratamientos con mayores recuentos de mesófilos y psicrófilos, fueron los brotes con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup>, y como se comentó anteriormente, registró la tasa respiratoria más elevada. Según Varoquax *et al.* (1996), el crecimiento microbiano elevado determina un

aumento en la tasa respiratoria de los productos MPF. Según Artés-Hernández *et al.* (2009), quienes trabajaron con hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de 4,54 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 13 días a 5 y 8 °C, informaron que las dosis más elevadas de radiación UV-C ayudaron al crecimiento de algunos microorganismos, probablemente por el aumento en los daños superficiales en las hojas de espinaca, dejando nutrientes disponibles para el crecimiento microbiano. Por lo tanto, dosis de radiación UV-C inferiores a 20,01 kJ m<sup>-2</sup> pueden ser efectivas en la reducción de recuentos microbianos, obteniendo resultados similares a la desinfección con NaClO.

El tratamiento NaClO (BP) tuvo bajos recuentos en psicrófilos y enterobacterias, siendo similar a los tratamientos con dosis bajas de radiación y NaClO más AM, siendo los mejores evaluados, similar a lo observado anteriormente en el parámetro color, donde el tratamiento NaClO (BP) registró el menor deterioro, contrario a los resultados esperados, ya que el uso de AM contribuye significativamente a la extensión de la vida postcosecha y a mantener la calidad sensorial y microbiológica de frutas y hortalizas (Kader, 2002), como se mencionó anteriormente.

Estos resultados son contrarios a los presentados por diversos autores que informan del efecto positivo de la radiación en la mantención de la calidad microbiológica. Los autores Allende y Artés (2003a) encontraron en lechugas *Lollo Rosso* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, un efecto positivo sobre el control de psicrófilos, coliformes y levaduras. Siendo fundamental determinar la dosis efectiva máxima según el tipo de producto. Entre las posibles causas que explican éste mecanismo de inactivación, figura que la radiación UV-C induce daños en el ADN celular de los microorganismos por la formación de dímeros entre las bases pirimidínicas vecinas que se encuentran en la misma hebra de ADN, de esta forma, se producen mutaciones. Debido a la formación de estas bases, los procesos de transcripción y replicación de ADN se bloquean, comprometiéndose así la funcionalidad celular y llevando eventualmente a la muerte celular (Miller *et al.*, 1999).

**Cuadro 8.** Recuentos microbiológicos en brotes de alfalfa tras 1 día a 5 °C bajo AM (log ufc g<sup>-1</sup>).

Parámetro / Tratamiento	Día 1
<b>Mesófilos</b>	
Agua + NaClO (BP)	3,5 ± 0,2 C
Agua + NaClO + AM	3,3 ± 0,3 C
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,2 ± 0,1 AB
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,0 ± 0,5 A
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,1 ± 0,2 BC
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,2 ± 0,4 BC
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,6 ± 0,1 D

(Continúa)

Cuadro 8: (Continuación)

Parámetro / Tratamiento	Día 1
<b>Psicrófilos</b>	
Agua + NaClO (BP)	2,0 ± 0,1 A
Agua + NaClO + AM	2,4 ± 0,2 A
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,5 ± 0,5 AB
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,2 ± 0,3 AB
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,0 ± 0,2 A
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,0 ± 0,4 A
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	> 5
<b>Enterobacterias</b>	
Agua + NaClO (BP)	2,2 ± 0,3 AB
Agua + NaClO + AM	3,0 ± 0,5 BC
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	1,2 ± 0,2 A
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,5 ± 0,1 C
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,2 ± 0,4 AB
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,1 ± 0,2 AB
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,8 ± 0,3 AB
<b>Hongos y Levaduras</b>	
Agua + NaClO (BP)	< 1
Agua + NaClO + AM	< 1
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1 ns
<b><i>Lactobacillus</i></b>	
Agua + NaClO (BP)	< 1
Agua + NaClO + AM	< 1
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1 ns

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan verticalmente, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). ns: No significativo. Los valores son la media ± EE (n=3).

## Análisis sensorial

Para todos los parámetros evaluados se fijó una puntuación mínima de 7,5 como límite de aceptación, desde el punto de vista del consumidor (adaptado de Allende *et al.*, 2004).

**Apariencia:** en todos los tratamientos se registró una disminución significativa de éste atributo durante el tiempo de conservación, registrando calificaciones en un rango de 9,5 a 13,3 (día 1) a un rango de 1,1 a 6,3 (día 8) (Cuadro 9 y Figura 10). En el día 1 el tratamiento con dosis de  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  fue significativamente inferior, dentro del rango “más que regular” (Cuadro 5), con una calificación de 9,5 en comparación a los otros tratamientos que se ubicaron entre los rangos “buena” a “excelente” con calificaciones entre 11,3 a 13,3. Tras 4 días el tratamiento con dosis de  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  se mantuvo dentro del rango “más que regular” con una calificación de 9,6, mientras que los otros tratamientos disminuyeron significativamente sus calificaciones con valores entre 5,2 a 7,9 dentro de los rangos “menos que regular” a “regular”. Al día 8 los tratamientos con dosis entre 10,18 a  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$  sufren una caída en su calidad, ubicándose entre los rangos “mala” a “muy mala” con calificaciones de 1,1 a 2,7 unidades, mientras que los tratamientos restantes se ubicaron dentro de los rangos “deficiente” a “menos que regular” con calificaciones de 5,0 a 6,3.

Luego de 4 días sólo los tratamientos con NaClO (AM) y dosis de 0,35 y  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  se encontraron dentro del límite de aceptabilidad, mientras que los tratamientos restantes registraron calificaciones fuera del límite fijado.

**Intensidad de color:** el tratamiento con NaClO además de aquellos con dosis de 0,35 y  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  registraron una disminución significativa de éste atributo durante el tiempo de conservación, con calificaciones de 8,7 a 13,9 (día 1) hasta 4,4 a 6,4 (día 8), los tratamientos restantes no registraron diferencias significativas (Cuadro 9 y Figura 10). En el día 1 el tratamiento con NaClO registró una calificación significativamente superior con 13,9 unidades dentro del rango “excelente” (Cuadro 6), los tratamientos restantes presentaron calificaciones de 7,0 a 10,8 dentro del rango “bueno” no registrando diferencias significativas entre tratamientos. Tras 4 días, los tratamientos registraron calificaciones de 6,9 a 8,9 dentro de los rangos “suficiente” a “bueno”, no registrando diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 8 días los tratamientos registraron calificaciones de 4,4 a 7,7 dentro de los rangos “suficiente” a “bueno”, no registrando diferencias significativas entre tratamientos.

Hasta el día 4 todos los tratamientos se encontraron dentro del límite de aceptabilidad. En el día 8 sólo el tratamiento con dosis de  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$  se mantuvo dentro del límite.

**Turgencia:** en todos los tratamientos se registró una disminución significativa de éste atributo durante el tiempo de conservación, registrando calificaciones en un rango de 9,4 a 13,6 (día 1) hasta 3,8 a 6,5 (día 8) (Cuadro 9). En el día 1 el tratamiento con dosis de  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  fue significativamente inferior dentro del rango “más que regular” (Cuadro 5) con una calificación de 9,4, en comparación a los tratamientos restantes que se ubicaron dentro

del rango “muy buena” con calificaciones entre 12,0 a 13,6. Luego de 4 días el tratamiento con dosis de  $0,35 \text{ kJ m}^{-2}$  presentó el valor más bajo dentro del rango “deficiente” con una calificación de 3,8, significativamente inferior a los otros tratamientos que se ubicaron entre los rangos “regular” a “buena” con calificaciones entre 7,1 a 11,3. En el día 8 los tratamientos registraron calificaciones entre los rangos “deficiente” a “regular” con calificaciones entre 3,8 a 6,5, sin diferencias significativas entre los tratamientos.

Luego de 4 días los tratamientos con dosis de  $0,35$  y  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$  se encontraron fuera del límite de aceptabilidad, con calificaciones de 3,8 y 7,1 respectivamente. Tras 8 días todos los tratamientos se encontraron fuera del límite fijado, con calificaciones entre 3,8 a 6,5.

**Sabores extraños:** durante el almacenamiento se observó un aumento significativo de éste parámetro en todos los tratamientos, registrando calificaciones de 0,4 a 3,3 (día 1) hasta valores de 6,2 a 10,2 (día 8) (Cuadro 9). En el día 1, los tratamientos registraron calificaciones de 0,4 a 3,3 entre los rangos “sin sabor” a “muy suave” (Cuadro 5) sin diferencias significativas entre tratamientos. Tras 4 días, los tratamientos se encontraron dentro de los rangos “muy suave” a “suave” con calificaciones de 1,7 a 4,1, las cuales no registraron diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 8 días se registraron calificaciones de 6,2 a 10,2 entre los rangos “levemente suave” a “alto”, sin embargo, no registraron diferencias significativas entre tratamientos.

Hasta el día 4 todos los tratamientos se encontraron dentro del límite de aceptabilidad. En el día 8 sólo el tratamiento con dosis de  $0,35 \text{ kJ m}^{-2}$  se mantuvo dentro del límite fijado.

Evaluando la calidad global de los brotes luego de 8 días, se observó que no hubo diferencias entre los tratamientos con  $\text{NaClO}$  y las distintas dosis de radiación UV-C.

De acuerdo a los resultados sensoriales en éste primer ensayo, se puede concluir que los brotes pueden conservarse por un tiempo de 4 a 5 días, debido al deterioro evidente de la calidad visual en todos los tratamientos, siendo reflejado por las bajas calificaciones registradas el día 8, fuera de los límites de aceptabilidad fijados anteriormente, influyendo negativamente en la preferencia del consumidor al momento de su compra.

En general, los resultados de la evaluación sensorial divergen de otros autores que encontraron efectos beneficiosos de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial del producto, relacionados principalmente con el retraso de la senescencia. Los autores Allende y Artés (2003a), que evaluaron el efecto de la radiación UV-C sobre la textura, sabor y apariencia de lechugas *Lollo Rosso* aplicando dosis entre  $0,40$  a  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$ , envasadas en AM por 10 días a  $5^\circ\text{C}$ , observaron luego de 7 días una disminución de la calidad visual en los tratamientos con dosis de  $0,40$  y  $0,81 \text{ kJ m}^{-2}$  con calificaciones por debajo del límite de aceptación, mientras que los tratamientos con dosis de  $2,44$  a  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$  registraron calificaciones sobre el límite de aceptación durante todo el periodo de conservación. Confirmando que la aplicación de dosis entre  $2,44$  a  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$  mejoró la calidad sensorial del producto; se informó además que la radiación UV-C podría estimular las enzimas relacionadas con la lignificación y mejorar la protección contra la invasión de patógenos.

En ensayos posteriores, los autores Allende y Artés (2003b) evaluaron de igual forma la textura, sabor y apariencia de lechugas *Red Oak Leaf* aplicando dosis entre 0,4 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observando que los límites de aceptación fueron superados luego de 7 días, no registrando diferencias significativas entre los distintos tratamientos, ni afectando las distintas concentraciones aplicadas. En relación a estos resultados se podría concluir que las distintas dosis de radiación UV-C evaluadas, no afectaron la calidad sensorial del producto.

En contraste a los efectos positivos citados anteriormente, los autores Artés-Hernández *et al.* (2009), trabajaron con hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de 4,54 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 13 días a 5 y 8 °C, registrando menores calificaciones los tratamientos con dosis de 7,94 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, con una vida útil menor a 10 días a 5 °C y de 6 días para 8 °C, por el aumento en el pardeamiento y malos olores al interior del empaque, causados probablemente por las dosis más elevadas de radiación, que afectaron la permeabilidad de las membranas celulares del producto.

Por tanto, puede decirse que la utilización de dosis de radiación UV-C en conjunto con el envasado bajo AM con películas de baja permeabilidad, tienen más bien un efecto negativo sobre la calidad general de los brotes. Estos resultados se debieron probablemente a las concentraciones gaseosas alcanzadas al interior de las bolsas. En éste caso el mismo producto se usó para regular los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a través de la respiración, junto con condiciones restringidas de intercambio de aire, siendo función de la película plástica utilizada. Sin embargo, esto no fue suficiente ya que las concentraciones al interior de las bolsas difirieron de las recomendadas (3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% para CO<sub>2</sub>, según Suslow y Cantwell, 1996), no siendo toleradas por el producto. Mientras que las distintas dosis de radiación utilizadas no registraron diferencias en la tasa respiratoria, vinculada con los procesos de deterioro de las frutas y hortalizas la cual es proporcional a la velocidad de respiración.

**Cuadro 9.** Evolución de la calidad sensorial en brotes de alfalfa durante 8 días bajo envasado en AM a 5 °C.

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Apariencia</b>			
Agua + NaClO + AM	13,0 ± 0,6 Bb <sup>z</sup>	7,6 ± 0,7 ABa	6,3 ± 0,8 Ca
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,2 ± 0,5 Bb	7,9 ± 0,7 ABa	6,3 ± 0,7 Ca
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	9,5 ± 0,7 Ab	9,6 ± 1,1 Bb	5,0 ± 0,7 BCa
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	11,3 ± 0,4 ABc	5,7 ± 0,7 Ab	2,7 ± 0,9 ABa
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,0 ± 0,3 Bc	5,2 ± 1,2 Ab	2,0 ± 0,7 ABa
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,3 ± 0,4 Bc	6,7 ± 0,9 ABb	1,1 ± 0,3 Aa

(Continúa)

Cuadro 9: (Continuación)

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Intensidad de color</b>			
Agua + NaClO + AM	13,9 ± 0,3 Dc	8,5 ± 1,4 Ab	4,4 ± 0,7 Aa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	10,8 ± 1,2 CDb	6,9 ± 0,9 Aa	6,4 ± 0,6 ABa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	8,7 ± 0,6 BCb	8,9 ± 0,6 Ab	5,9 ± 1,1 Aa
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	9,4 ± 0,3 BCa	8,0 ± 0,6 Aa	7,4 ± 0,3 ABa
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	7,0 ± 1,5 Ba	7,3 ± 0,8 Aa	6,1 ± 0,8 Aa
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	7,7 ± 0,5 Bb	7,8 ± 0,7 Ab	7,7 ± 0,5 ABb
<b>Turgencia</b>			
Agua + NaClO + AM	13,0 ± 0,8 Bc	9,2 ± 1,1 BCb	4,2 ± 1,2 ABa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,0 ± 0,7 ABb	3,8 ± 0,8 Aa	6,3 ± 0,7 ABa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	9,4 ± 0,9 Ab	11,3 ± 1,0 Cb	6,5 ± 0,9 ABa
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,1 ± 0,1 Bb	10,5 ± 0,8 BCb	4,9 ± 1,5 ABa
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,6 ± 0,3 Bc	8,5 ± 0,4 BCb	3,8 ± 0,8 Aa
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,6 ± 0,4 Bb	7,1 ± 0,8 ABa	4,3 ± 1,1 ABa
<b>Sabores extraños</b>			
Agua + NaClO + AM	0,4 ± 0,2 Aa	3,3 ± 2,0 ABb	7,6 ± 1,7 ABb
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	1,8 ± 1,0 Aa	1,7 ± 1,0 Aa	6,2 ± 1,5 Ab
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,3 ± 1,6 Aa	3,2 ± 1,5 ABa	7,8 ± 1,7 Ab
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,7 ± 1,1 Aa	3,4 ± 0,6 Aa	8,8 ± 1,9 ABb
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,1 ± 1,0 Aa	4,1 ± 0,6 Aa	8,7 ± 1,8 ABb
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	0,7 ± 0,4 Aa	3,0 ± 1,2 ABa	10,2 ± 0,9 ABb

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan verticalmente y minúsculas comparan horizontalmente, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Los valores son la media ± EE (n=12).

La interpretación de los datos se realizaron mediante las tablas 5 y 6, expuestas en la sección materiales y métodos.

**Agua + NaClO (BP).****Agua + NaClO + AM.****Agua + 0,35 kJ m<sup>-2</sup> + AM****Agua + 5,26 kJ m<sup>-2</sup> + AM**

**Agua + 10,18 kJ m<sup>-2</sup> + AM**



**Agua + 15,09 kJ m<sup>-2</sup> + AM**



**Agua + 20,01 kJ m<sup>-2</sup> + AM**



**Figura 10.** Evolución de color y apariencia de brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C.

## Ensayo 2

### Tasa respiratoria

Todos los tratamientos disminuyeron su tasa respiratoria durante el periodo de conservación, llegando a un equilibrio tras 4 días con valores en un rango de 38,5 a 46,6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 11). En el día 0 inmediatamente después del procesamiento, los tratamientos con dosis de 5,26 y 10,18 kJ m<sup>-2</sup> indujeron tasas respiratorias significativamente más altas con 65,3 y 65,0 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, en comparación a los tratamientos restantes con valores de 55,6 a 59,0 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

En el día 1 se observó que los tratamientos con dosis de 15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> registraron un incremento significativo en la tasa respiratoria con valores de 74,8 y 81,2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, probablemente en respuesta a las dosis más elevadas de radiación aplicada. Los otros tratamientos presentaron valores de 54,9 a 64,3 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, no registrando diferencias significativas entre tratamientos.

Tras 4 días, el tratamiento con dosis de 10,18 kJ m<sup>-2</sup> presentó el valor más alto con 46,5 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, significativamente superior a los tratamientos restantes con valores entre 39,5 a 42,7 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Luego de 8 días, los tratamientos con NaClO (testigo) y dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> presentaron un aumento significativo, alcanzando valores de 46,9 y 43,7 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, en comparación con los otros tratamientos con valores de 39,3 a 41,2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Siendo similar al Ensayo 1, donde los brotes con dosis de 20,01 kJ m<sup>-2</sup> registraron la tasa respiratoria más alta luego de 8 días.

A diferencia del ensayo anterior, esta experiencia registró niveles más elevados durante el día 1, en un rango de 54,9 a 81,2 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, mientras que en el Ensayo 1 se registraron valores de 47,1 a 56,3 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. En contraste, tras 4 y 8 días en el Ensayo 2 se registraron tasas respiratorias menores con valores de 39,3 a 46,4 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, mientras que el Ensayo 1 registró valores de 47,5 a 62,0 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. La mayor actividad respiratoria observada en el Ensayo 1, puede deberse a una mayor manipulación de los brotes, la cual estimula la tasa respiratoria de los productos siendo más perecederos (Watada, 1997). Estos resultados podrían ser una posible respuesta al deterioro evidente en el Ensayo 1, ya que la perecibilidad de frutas y hortalizas es generalmente proporcional a su velocidad de respiración (Kader, 2002).

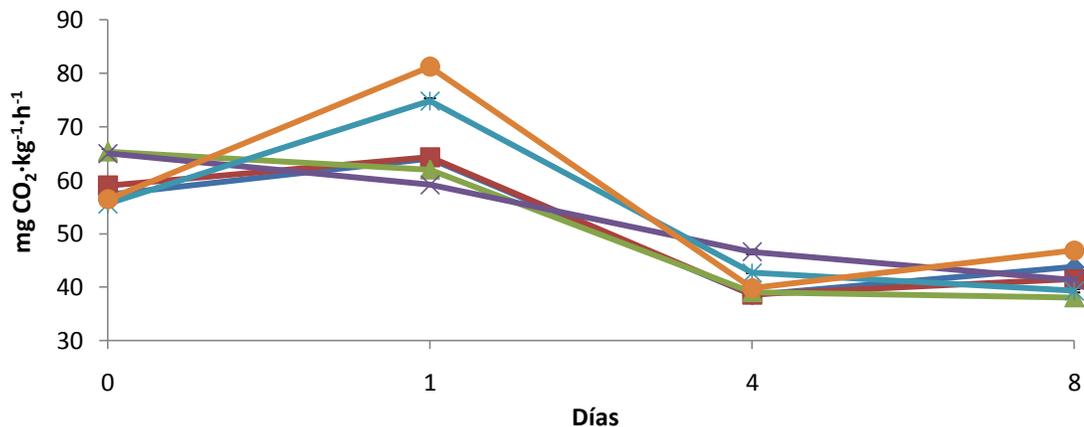
Por tanto, al igual que en el Ensayo 1 las dosis de radiación UV-C utilizadas no ocasionaron un estrés al producto, si bien, las dosis más elevadas de radiación utilizadas generaron un aumento en la tasa respiratoria, éste no fue significativo, obteniendo resultados similares al tratamiento con NaClO. Diversos autores atribuyen a la radiación UV-C el retraso en los procesos de maduración y senescencia, debido probablemente al retardo en la degradación de la pared celular (Lu *et al.*, 1991). Estos efectos podrían

explicar la tasa respiratoria similar al tratamiento testigo. El incremento en la tasa respiratoria finalizado el periodo de conservación, puede deberse al aumento en la carga microbiana y/o a la senescencia propia del producto (Silveira *et al.*, 2008).

Con respecto al efecto de la radiación UV-C en la respiración de los productos, aparecen en la bibliografía resultados contradictorios.

Por ejemplo, contrario a lo observado en éste ensayo, Allende y Artés (2003b), estudiaron el efecto de la radiación UV-C sobre lechugas *Red Oak Leaf* aplicando dosis entre 0,40 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C. Los autores observaron un incremento de la tasa respiratoria proporcional a la dosis más elevada de radiación, siendo estas diferencias significativas entre las dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>. Es así como el testigo lavado con NaClO obtuvo un valor de 49,6 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y de 77,4 a 90,0 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para las dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>. Estos valores serían causados por el estrés del tratamiento. Allende y Artés (2003a), en lechugas *Lollo Rosso* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observaron como el testigo lavado con NaClO obtuvo un valor 40,9 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y de 61,6 a 81,0 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para las dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>. Por tanto, la radiación UV-C estimularía la tasa respiratoria generando un aumento en la producción de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, Artés-Hernández *et al.* (2009), en hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de 4,54 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 13 días a 5 y 8 °C, encontraron una reducción en la respiración. Vicente *et al.* (2004), también encontraron una reducción en la tasa respiratoria en frutos del bosque tratados con dosis de 9,2 kJ m<sup>-2</sup>, en relación a los no tratados.



**Figura 11.** Evolución de la tasa respiratoria (mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C.

(◆), NaClO; (■), 0,35 kJ m<sup>-2</sup>; (▲), 5,26 kJ m<sup>-2</sup>; (×), 10,18 kJ m<sup>-2</sup>; (\*), 15,09 kJ m<sup>-2</sup>; (●), 20,01 kJ m<sup>-2</sup>. Los valores son la media ± EE (n=3).

### Composición gaseosa en el interior de las bolsas

En todos los tratamientos disminuyeron las concentraciones de O<sub>2</sub> durante el periodo de conservación, llegando a un equilibrio tras 4 días con valores en un rango de 3,5 a 4,9% sin registrar diferencias significativas (Figura 12A). En el día 8, los tratamientos presentaron un ligero incremento en un rango de 4,3 a 8,2% sin embargo no registraron diferencias significativas.

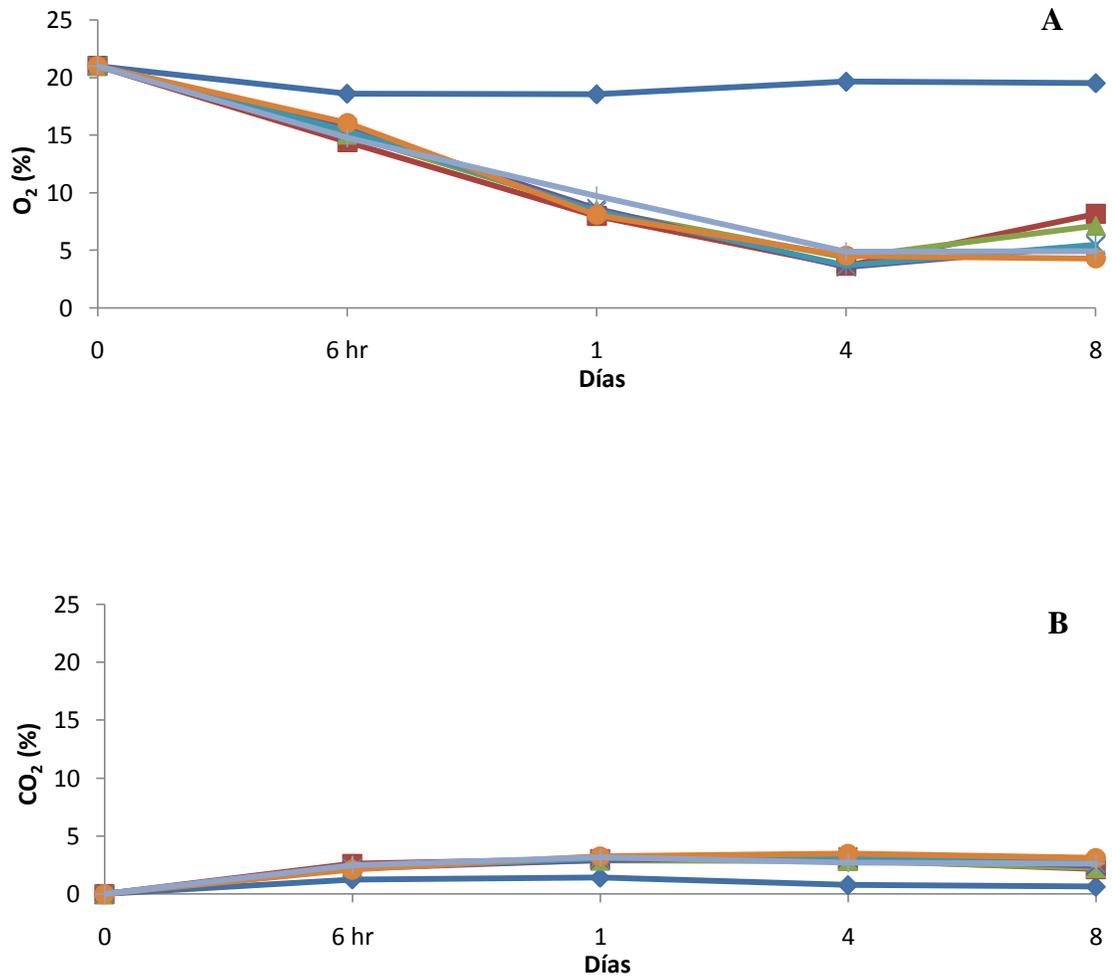
Las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumentaron en todos los tratamientos hasta el día 1, donde alcanzaron un equilibrio con valores de 2,9 y 3,3% no registrando diferencias significativas entre tratamientos. (Figura 12B). Tras 4 días, los tratamientos registraron valores de 2,7 a 3,5% sin diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 8 días, los tratamientos presentaron una ligera disminución con valores de 2,2 a 3,1% sin embargo no registraron diferencias entre tratamientos ni durante el periodo de conservación.

El tratamiento NaClO (BP) registró valores constantes de 18,5 a 19,5% de O<sub>2</sub> y 0,6 y 1,4% CO<sub>2</sub>, similar al aire.

El leve aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> y la disminución de O<sub>2</sub>, contrarias a las registradas en el Ensayo 1, se debe probablemente a la menor permeabilidad de la película plástica utilizada, además de la menor tasa respiratoria observada en éste segundo ensayo, como se explicó anteriormente.

Estos resultados coinciden con los observados por Allende y Artés (2003a) en lechugas *Lollo Rosso* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C. Las mayores dosis de radiación provocaron una mayor concentración de CO<sub>2</sub> dentro de las bolsas, en un rango de 9 a 11%. Similar a lo señalado por Allende y Artés (2003b), en lechugas *Red Oak Leaf* tratadas con radiación UV-C con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, que alcanzaron valores entre 2 a 5% para O<sub>2</sub> y 10 a 12% CO<sub>2</sub>. Suslow y Cantwell (1996) demostraron que atmósferas con 3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% para CO<sub>2</sub> en tarrinas plásticas con ventilación limitada o en bolsas de película perforada, mejoran la calidad de brotes de poroto chino (*Vigna radiata* L.) durante la conservación, debido a que estas condiciones frenan la respiración, procesos vitales y reducen la pérdida de su calidad inicial.

Las concentraciones gaseosas al interior de las bolsas no registraron diferencias significativas entre tratamientos, no influyendo las distintas dosis de radiación UV-C utilizadas, en relación al tratamiento con NaClO. Si bien las películas plásticas de alta permeabilidad modificaron la atmósfera al interior del envase, éstas no lograron la concentración gaseosa deseada, difiriendo de los valores recomendados anteriormente por Suslow y Cantwell, (1996) (3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% CO<sub>2</sub>).



**Figura 12.** Evolución de las concentraciones de O<sub>2</sub> (A) y CO<sub>2</sub> (B) en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C bajo AM.  
 (◆), NaClO (BP); (◻), NaClO (AM); (■), 0,35 kJ m<sup>-2</sup>; (▲), 5,26 kJ m<sup>-2</sup>; (×), 10,18 kJ m<sup>-2</sup>; (\*), 15,09 kJ m<sup>-2</sup>; (●), 20,01 kJ m<sup>-2</sup>. Los valores son la media ± EE (n=3).

### Color

**Luminosidad:** durante el almacenamiento los valores de L aumentaron levemente, sin embargo, no registraron diferencias significativas entre tratamientos ni durante el periodo de conservación con valores en un rango de 60,3 a 64,1 (Cuadro 10).

**Saturación:** se observó un aumento significativo de éste parámetro en los tratamientos 10,18 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> con valores de 15,5 y 15,9 (día 1) hasta valores de 18,7 y 18,4 respectivamente (día 8). En los días 1,4 y 8 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos con valores en un rango de 15,5 a 18,7 (Cuadro 10).

**Tono:** los valores de tono disminuyeron levemente, sin embargo estos no registraron diferencias significativas entre tratamientos ni durante el periodo de almacenamiento, presentando valores en un rango de 105,2 y 108,4 (Cuadro 10).

A diferencia del Ensayo 1 donde la variación de los parámetros de color reflejaron un mayor pardeamiento en todos los tratamientos, en esta experiencia los parámetros se mantuvieron constantes, a excepción de los tratamientos con dosis de 10,18 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup>, que mostraron un producto con un color más intenso (mayor C\*) durante el periodo de conservación, estos resultados se deben probablemente a la concentración gaseosas alcanzada al interior de las bolsas.

Estos resultados difieren de datos de otros autores, quienes mencionan un efecto positivo de la radiación UV-C para retrasar la maduración y senescencia de los productos vegetales, incluyendo la mantención del color, puesto que la degradación de los pigmentos está vinculada a ellos (Silveira *et al.*, 2008). Según Allende y Artés (2003a, b) que estudiaron el efecto de la radiación UV-C sobre lechugas *Lollo Rosso* y *Red Oak Leaf* aplicando dosis entre 0,4 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observaron que las dosis mayores de radiación (4,07 y 8,14 kJ m<sup>-2</sup>) proporcionaron un menor pardeamiento de los tejidos manteniéndose aceptables para el consumo hasta por 10 días. Similar a lo señalado por Costa *et al.* (2005), en cabezas de brócoli tratadas con radiación UV-C en dosis de 4 a 14 kJ m<sup>-2</sup>, almacenadas por 6 días a 20 °C, quienes publicaron que la radiación UV-C afectó la luminosidad del brócoli, aumentando durante el almacenamiento sólo en floretes no radiados y registrando además un menor descenso en los valores de tono luego de 4 días a 20 °C.

Por otro lado, el tipo de envasado pudo generar diferencias. Diversos autores señalan el efecto benéfico del uso adecuado de la AM, pero en ocasiones resulta ser nociva para el producto, agravando ciertos desordenes fisiológicos, maduración anormal, entre otros (Artés-Hernández, 2007). Los autores Suslow y Cantwell (1996), observaron en brotes de poroto chino (*Vigna radiata* L.) conservados en AM que contienen 5% O<sub>2</sub> y 15% CO<sub>2</sub> por 5 días a 8 °C, una reducción en el pardeamiento y un retraso en la viscosidad de los brotes. Estas afirmaciones contrastan con lo observado por Martínez-Sánchez *et al.* (2006), quienes observaron que el color y la calidad visual en rúcula lavada con diferentes sanitizantes se vio más afectada en las muestras almacenadas en AM que en las muestras almacenadas bajo aire.

Por lo comentado recientemente, se puede decir que las dosis de radiación utilizadas, así como también las concentraciones gaseosas al interior de los envases con películas de baja permeabilidad, distintas de las recomendadas por Suslow y Cantwell (1996), preservan el color de los brotes durante el tiempo de conservación.

**Cuadro 10.** Evolución del color (L, C\* y Hab) en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C bajo AM.

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Luminosidad (L)</b>			
Agua + NaClO (BP)	62,4 ± 0,6	60,5 ± 0,7	64,1 ± 0,9
Agua + NaClO + AM	61,9 ± 0,4	62,3 ± 0,7	62,4 ± 0,8
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,3 ± 0,5	60,8 ± 0,7	63,8 ± 0,7
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,3 ± 0,9	61,8 ± 0,8	63,3 ± 0,7
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	61,4 ± 0,7	61,5 ± 0,8	61,4 ± 0,8
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	60,5 ± 0,8	62,3 ± 0,8	60,6 ± 0,6
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	61,3 ± 0,7 ns	61,3 ± 1,0	61,6 ± 0,4 ns
<b>Saturación (C*)</b>			
Agua + NaClO (BP)	16,6 ± 0,9 Aa <sup>z</sup>	18,4 ± 0,3 Aa	18,4 ± 0,9 Aa
Agua + NaClO + AM	18,0 ± 0,8 Aa	16,6 ± 0,5 Aa	18,6 ± 0,9 Aa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	17,9 ± 0,7 Aa	17,7 ± 0,8 Aa	18,7 ± 0,7 Aa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	17,0 ± 0,9 Aa	16,3 ± 0,9 Aa	17,1 ± 0,7 Aa
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	15,5 ± 0,8 Aa	17,5 ± 0,6 Aab	18,7 ± 0,6 Ab
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	16,6 ± 0,7 Aa	17,6 ± 0,8 Aa	17,6 ± 0,6 Aa
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	15,9 ± 0,5 Ab	17,7 ± 0,7 Aab	18,4 ± 0,6 Aa
<b>Tono (Hab)</b>			
Agua + NaClO (BP)	107,1 ± 0,7	106,1 ± 0,5	106,6 ± 0,6
Agua + NaClO + AM	107,1 ± 0,6	106,7 ± 0,7	106,5 ± 0,7
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	106,7 ± 0,6	106,3 ± 0,9	106,4 ± 0,4
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	107,3 ± 0,6	108,4 ± 0,7	106,8 ± 0,7
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	107,9 ± 0,5	106,0 ± 0,4	105,6 ± 0,6
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	106,0 ± 0,5	106,7 ± 0,4	105,2 ± 0,6
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	107,0 ± 0,8 ns	105,9 ± 0,7	106,2 ± 0,5 ns

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan verticalmente y minúsculas comparan horizontalmente, letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05). ns: No significativo. Los valores son la media ± EE (n=15).

### Análisis microbiológico

**Mesófilos:** se observó un aumento significativo de los recuentos en el tiempo de conservación en los tratamientos con dosis de 5,26, 10,18 kJ m<sup>-2</sup> y con NaClO (AM) con valores en un rango de 3,6 a 5,6 (día 1) a valores de 5,7 a 7,0 log ufc g<sup>-1</sup> (día 8), mientras que los otros tratamientos se mantuvieron sin diferencias significativas (Cuadro 11). En el día 1, el tratamiento con NaClO (AM) presentó recuentos significativamente más bajos con 3,6 log ufc g<sup>-1</sup>, en comparación con los otros tratamientos que registraron valores en un rango de 4,8 a 5,6 log ufc g<sup>-1</sup>. Tras 4 días, el tratamiento con NaClO (AM) siguió

presentando los recuentos más bajos con  $3,7 \text{ ufc g}^{-1}$ , los tratamientos restantes presentaron recuentos en un rango de  $4,0$  a  $6,2 \text{ ufc g}^{-1}$ , siendo éste último el tratamiento con  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$ . Luego de 8 días, los tratamientos con dosis de  $5,26$  y  $10,18 \text{ kJ m}^{-2}$  presentaron recuentos significativamente más altos con  $7,0 \text{ log ufc g}^{-1}$ , en comparación a los otros tratamientos con valores en un rango de  $3,9$  a  $5,7 \text{ log ufc g}^{-1}$ .

**Psicrófilos:** los tratamientos con NaClO (BP y AM) y dosis de  $15,09 \text{ kJ m}^{-2}$  registraron una disminución en los recuentos durante el periodo de conservación, con valores en un rango de  $3,8$  a  $4,8$  (día 1) hasta valores de  $3,2$  a  $3,5$  (día 8), mientras que los tratamientos restantes presentaron un aumento en los recuentos (Cuadro 11). En el día 1, el tratamiento con dosis de  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  presentó los recuentos más bajos con  $2,1 \text{ log ufc g}^{-1}$ , significativamente inferior a los tratamientos con NaClO (BP) y dosis de  $0,35 \text{ kJ m}^{-2}$ , registrando valores de  $4,8$  y  $5,1 \text{ log ufc g}^{-1}$  respectivamente. Tras 4 días, el tratamiento con dosis  $5,26 \text{ kJ m}^{-2}$  siguió presentando los recuentos más bajos con  $2,5 \text{ ufc g}^{-1}$ , mientras que los tratamientos restantes presentaron recuentos de  $3,0$  a  $5,0 \text{ ufc g}^{-1}$ , siendo éste último el tratamiento con  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$ . Luego de 8 días, los tratamientos con dosis de  $0,35$  a  $10,18 \text{ kJ m}^{-2}$  presentaron recuentos significativamente más altos en un rango de  $6,0$  a  $6,2 \text{ log ufc g}^{-1}$ , en comparación a los otros tratamientos que presentaron conteos en un rango de  $3,2$  a  $4,1 \text{ log ufc g}^{-1}$ .

**Enterobacterias:** los tratamientos con dosis de  $10,18$  y  $15,09 \text{ kJ m}^{-2}$  no registraron diferencias significativas durante el periodo de conservación, mientras que los tratamientos restantes registraron un aumento significativo en los conteos, con valores de  $2,8$  a  $4,2$  (día 1) hasta valores de  $4,8$  a  $5,7$  (día 8) (Cuadro 11). En el día 1, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos con valores en un rango de  $2,8$  a  $4,2 \text{ log ufc g}^{-1}$ . En el día 4, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos con valores en un rango de  $3,0$  a  $4,4 \text{ log ufc g}^{-1}$ . Luego de 8 días, el tratamiento con dosis de  $10,18 \text{ kJ m}^{-2}$  presentó los recuentos más bajos con  $3,9 \text{ log ufc g}^{-1}$ , significativamente inferior a los tratamientos con NaClO, dosis de  $0,35$  y  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$  con valores de  $5,2$  a  $5,7 \text{ log ufc g}^{-1}$ .

**Hongos y levaduras:** en el día 1, se presentaron recuentos de  $1 \text{ log ufc g}^{-1}$  en los tratamientos con NaClO (BP y AM), no registrando diferencias significativas (Cuadro 11). Luego de 4 y 8 días, los tratamientos registraron valores de  $< 1 \text{ log ufc g}^{-1}$ .

**Lactobacillus:** Durante el periodo de almacenamiento se observó un aumento significativo en los recuentos de todos los tratamientos (Cuadro 11). En el día 1, se observaron recuentos en un rango de  $2,7$  a  $3,7 \text{ log ufc g}^{-1}$ , no registrando diferencias significativas entre tratamientos. En el día 4, se presentaron conteos en un rango de  $3,6$  y  $4,5 \text{ log ufc g}^{-1}$ , no registrando diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 8 días, los tratamientos presentaron conteos en un rango de  $5,5$  a  $5,9 \text{ log ufc g}^{-1}$ , no registrando diferencias significativas entre los tratamientos.

De acuerdo a las normas microbiológicas del Ministerio de Salud de Chile, para frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados listos para consumo, el límite máximo permitido para mesófilos es de  $5,69 \text{ log ufc g}^{-1}$ , mientras que para enterobacterias es de  $4,69 \text{ log ufc g}^{-1}$  (Anexo 2). Por tanto, para mesófilos durante el día 4 los tratamientos con NaClO (BP) y

dosis de  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$  se ubicaron dentro del rango “rechazable”. Luego en el día 8, los tratamientos con NaClO (AM) y dosis de  $5,26$  y  $10,18 \text{ kJ m}^{-2}$ , se ubicaron en el rango “rechazable”, superando el límite máximo permitido. Los tratamientos restantes se ubicaron entre los rangos “aceptable” a “medianamente aceptable”. Para enterobacterias en los días 1 y 4 los tratamientos se ubicaron en los grados de calidad “aceptable” y “medianamente aceptable”. Tras 8 días, el tratamiento con dosis de  $10,18 \text{ kJ m}^{-2}$  se ubicó dentro del rango “más que regular”, mientras que los otros tratamientos se encontraron dentro del rango “rechazable”.

Contrario a lo observado en el Ensayo 1, esta experiencia registró menores conteos de mesófilos, psicrófilos y enterobacterias en los tratamientos con dosis más elevadas de radiación ( $15,09$  y  $20,01 \text{ kJ m}^{-2}$ ), siendo similar a los tratamientos con NaClO, mientras que, los tratamientos con dosis bajas y medias de radiación registraron conteos más elevados. Si bien la aplicación de los tratamientos obtuvo reducciones en los recuentos de microorganismos, éstos no se mantuvieron durante el periodo de conservación con valores fuera de los límites máximos permitidos.

Estos resultados son contrarios a los observados por Artés-Hernández *et al.* (2009), quienes trabajaron con hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de  $4,54$  a  $11,35 \text{ kJ m}^{-2}$ , envasadas en AM por 13 días a  $5$  y  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , quienes informaron que las dosis más elevadas de radiación UV-C ayudaron al crecimiento de algunos microorganismos, probablemente por un aumento en los daños superficiales en las hojas de espinaca, dejando nutrientes disponibles para el crecimiento microbiano.

En contraste, diversos autores informan del efecto positivo de la radiación en la mantención de la calidad microbiológica. Los autores Allende y Artés (2003a) encontraron en lechugas *Lollo Rosso* tratadas con radiación UV-C con dosis de  $2,44$  a  $8,14 \text{ kJ m}^{-2}$ , envasadas en AM por 10 días a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , un efecto positivo sobre el control de psicrófilos, coliformes y levaduras. Siendo fundamental determinar la dosis efectiva máxima según el tipo de producto.

Lo comentado anteriormente, demuestra la importancia de la obtención de materia prima de buena calidad, ya que si se parte de productos de baja calidad se obtendrá una baja calidad en el producto terminado (Gorny y Kader, 1996) disminuyendo su vida útil.

**Cuadro 11.** Recuentos microbiológicos en brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C bajo AM (log ufc g<sup>-1</sup>).

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Mesófilos</b>			
Agua + NaClO (BP)	5,6 ± 0,3 Bb	5,9 ± 0,4 CDb	3,9 ± 0,2 ABa
Agua + NaClO + AM	3,6 ± 0,2 Aa	3,7 ± 0,4 Aa	5,7 ± 0,0 BCb
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,8 ± 0,0 ABa	4,9 ± 0,4 ABCa	5,0 ± 0,7 ABa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	5,3 ± 0,3 Bb	4,0 ± 0,4 ABa	7,0 ± 0,0 Dc
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,8 ± 0,2 ABa	4,4 ± 0,3 ABa	7,0 ± 0,0 CDb
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,8 ± 0,1 ABa	5,1 ± 0,2 BCDA	4,7 ± 0,0 ABa
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	5,1 ± 0,2 Ba	6,2 ± 0,4 Db	4,6 ± 0,2 ABa
<b>Psicrófilos</b>			
Agua + NaClO (BP)	4,8 ± 0,1 CDb	4,1 ± 0,1 CDab	3,5 ± 0,3 Aa
Agua + NaClO + AM	3,8 ± 0,3 BCa	3,5 ± 0,3 ABCa	3,2 ± 0,3 Aa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	5,1 ± 0,0 Db	3,6 ± 0,0 BCa	6,0 ± 0,2 Bc
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,1 ± 0,2 Aa	2,5 ± 0,0 Aa	6,2 ± 0,0 Bb
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,9 ± 0,0 BCb	3,0 ± 0,0 ABa	6,2 ± 0,0 Bc
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,8 ± 0,4 BCab	4,4 ± 0,3 CDb	3,3 ± 0,3 Aa
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,1 ± 0,5 ABa	5,0 ± 0,3 Dc	4,1 ± 0,1 Ab
<b>Enterobacterias</b>			
Agua + NaClO (BP)	2,8 ± 0,5 Aa <sup>z</sup>	4,1 ± 0,4 ABb	4,8 ± 0,3 ABb
Agua + NaClO + AM	2,8 ± 0,3 Aa	4,0 ± 0,2 ABb	5,5 ± 0,5 Bc
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,4 ± 0,1 Aa	4,4 ± 0,2 Ba	5,7 ± 0,2 Bb
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,2 ± 0,5 Aa	3,7 ± 0,1 ABa	5,4 ± 0,2 ABb
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,7 ± 0,2 Aa	3,2 ± 0,3 ABa	3,9 ± 0,1 Aa
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,1 ± 0,4 Ab	3,0 ± 0,4 ABa	5,2 ± 0,2 ABb
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	4,0 ± 0,4 Aa	3,0 ± 0,4 ABa	5,2 ± 0,2 ABb
<b>Hongos y Levaduras</b>			
Agua + NaClO (BP)	1 ± 1,0	< 1	< 1
Agua + NaClO + AM	1 ± 0,5	< 1	< 1
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1	< 1	< 1
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1	< 1	< 1
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1	< 1	< 1
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1	< 1	< 1
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	< 1 ns	< 1 ns	< 1 ns

(Continúa)

Cuadro 11: (Continuación)

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b><i>Lactobacillus</i></b>			
Agua + NaClO (BP)	3,7 ± 0,4 Ba	3,6 ± 0,3 ABa	5,7 ± 0,2 Ab
Agua + NaClO + AM	3,0 ± 0,0 ABa	4,1 ± 0,2 ABb	5,6 ± 0,1 Ac
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,4 ± 0,3 ABa	3,6 ± 0,4 Aa	5,7 ± 0,2 Ab
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,0 ± 0,3 ABa	3,9 ± 0,1 ABb	5,5 ± 0,2 Ac
Agua + 10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,2 ± 0,1 ABa	4,2 ± 0,2 ABb	5,9 ± 0,0 Ac
Agua + 15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	3,1 ± 0,2 ABa	3,7 ± 0,3 ABa	5,8 ± 0,1 Ab
Agua + 20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,7 ± 0,4 ABa	4,5 ± 0,1 Bb	5,7 ± 0,0 Ac

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan verticalmente y minúsculas horizontalmente, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). ns: No significativo. Los valores son la media ± EE (n=3).

### Análisis sensorial

Para todos los parámetros evaluados se fijó una puntuación mínima de 7,5 como límite de aceptación, desde el punto de vista del consumidor.

**Apariencia:** en todos los tratamientos se registró una disminución de éste atributo durante el tiempo de conservación, no siendo significativo en los tratamientos con dosis de 10,18 y 15,09 kJ m<sup>-2</sup> con valores de 12,2 y 12,1 (día 1) respectivamente, hasta valores de 10,5 (día 8) (Cuadro 12 y Figura 13). En el día 1, todos los tratamientos se encontraron entre los rangos “muy buena” a “excelente” (Cuadro 5) no registrando diferencias significativas, con calificaciones en un rango de 12,1 a 13,5. Tras 4 días, los tratamientos se encontraron dentro del rango “buena” no registrando diferencias significativas con calificaciones de 9,9 a 11,4. Tras 8 días, los tratamientos registraron calificaciones entre los rangos “más que regular” a “buena” sin diferencias significativas, con valores entre 9,2 a 10,8 unidades.

**Intensidad de color:** durante el periodo de conservación los tratamientos registraron una leve disminución de éste atributo (Cuadro 12 y Figura 13), sin embargo, no registraron diferencias entre tratamientos ni durante el almacenamiento, con calificaciones en un rango de 7,7 a 12,1 dentro de los rangos “bueno” a “muy bueno” (Cuadro 6).

**Turgencia:** éste atributo disminuyó significativamente en todos los tratamientos durante el periodo de conservación, a excepción de los brotes con dosis de 5,26 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> que registraron calificaciones de 12,3 y 12,0 (día 1) hasta 10,9 y 10,1 (día 8), respectivamente (Cuadro 12). En el día 1, todos los tratamientos se encontraron entre los rangos “muy buena” a “excelente” (Cuadro 5) no registrando diferencias significativas, con calificaciones en un rango de 12,0 a 13,3. Tras 4 días, los tratamientos se encontraron dentro de los rangos “buena” a “muy buena” no registrando diferencias significativas con calificaciones de 11,0 a 12,0. . Luego de 8 días, los tratamientos se encontraron en el rango “buena”, no registrando diferencias significativas entre los distintos tratamientos, con calificaciones de 9,7 a 10,9.

**Sabores extraños:** durante el periodo de conservación se observó un leve aumento de éste atributo (Cuadro 12), sin embargo, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, ni durante el almacenamiento, con calificaciones en un rango de 0,8 a 3,3 dentro de los rangos “sin sabor” a “muy suave” (Cuadro 5).

En general, los resultados de la evaluación sensorial son similares a los de otros autores que encontraron efectos beneficiosos de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial del producto, relacionados principalmente con el retraso de la senescencia. Los autores Allende y Artés (2003a), que evaluaron el efecto de la radiación UV-C sobre la textura, sabor y apariencia de lechugas *Lollo Rosso* aplicando dosis entre 0,40 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observaron luego de 7 días una disminución de la calidad visual en los tratamientos con dosis de 0,40 y 0,81 kJ m<sup>-2</sup> con calificaciones por debajo del límite de aceptación, mientras que los tratamientos con dosis de 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup> registraron calificaciones sobre el límite de aceptación durante todo el periodo de conservación. Confirmando que la aplicación de dosis entre 2,44 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup> mejoraron la calidad sensorial del producto; se informó además que la radiación UV-C podría estimular las enzimas relacionadas con la lignificación y mejorar la protección contra la invasión de patógenos. En ensayos posteriores, los autores Allende y Artés (2003b) evaluaron de igual forma la textura, sabor y apariencia de lechugas *Red Oak Leaf* aplicando dosis entre 0,4 a 8,14 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 10 días a 5 °C, observando que los límites de aceptación fueron superados luego de 7 días, no registrando diferencias significativas entre los distintos tratamientos, ni afectando las distintas concentraciones aplicadas. En relación a estos resultados se podría concluir que las distintas dosis de radiación UV-C evaluadas, no afectaron la calidad sensorial del producto.

En contraste a los efectos positivos citados anteriormente, los autores Artés-Hernández *et al.* (2009), trabajaron con hojas de espinacas tratadas con radiación UV-C en dosis de 4,54 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, envasadas en AM por 13 días a 5 y 8 °C, registrando menores calificaciones los tratamientos con dosis de 7,94 a 11,35 kJ m<sup>-2</sup>, con una vida útil menor a 10 días a 5 °C y de 6 días para 8 °C, por el aumento en el pardeamiento y malos olores al interior del empaque, causados probablemente por las dosis más elevadas de radiación, que afectaron la permeabilidad de las membranas celulares del producto.

Contrario a lo observado en el Ensayo 1, se puede concluir que los brotes pueden conservarse por un tiempo superior a los 8 días que duró este ensayo, ya que registraron calificaciones dentro de los límites de aceptabilidad fijados en todos los parámetros evaluados. Por tanto, el uso de AM con películas de baja permeabilidad, que generó concentraciones gaseosas dentro de las bolsas, distintas de las recomendadas (3-5% O<sub>2</sub> y 10-15% para CO<sub>2</sub>, según Suslow y Cantwell, 1996), fueron toleradas por el producto, mientras que las distintas dosis de radiación utilizadas, no registraron diferencias en la tasa respiratoria, vinculada con los procesos de deterioro de las frutas y hortalizas la cual es proporcional a la velocidad de respiración. Siendo éstas un complemento eficaz a la temperatura, para extender la vida postcosecha y mantener la calidad de los brotes.

**Cuadro 12.** Evolución de la calidad sensorial en brotes de alfalfa durante 8 días bajo envasado en AM a 5 °C.

Parámetro / Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8
<b>Apariencia</b>			
Agua + NaClO + AM	13,5 ± 0,3 Ab <sup>z</sup>	10,9 ± 0,8 Aa	10,6 ± 0,8 Aa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,4 ± 0,4 Ab	11,4 ± 0,8 Aab	10,8 ± 0,7 Aa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,6 ± 0,5 Ab	11,4 ± 0,6 Aab	10,0 ± 0,5 Aa
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,2 ± 0,9 Aa	10,9 ± 0,7 Aa	10,5 ± 0,6 Aa
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,1 ± 1,0 Aa	11,0 ± 0,7 Aa	10,5 ± 0,8 Aa
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,4 ± 0,6 Ab	9,9 ± 0,5 Aa	9,2 ± 0,7 Aa
<b>Intensidad de color</b>			
Agua + NaClO + AM	11,0 ± 1,5	9,5 ± 1,0	9,6 ± 1,2
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,1 ± 1,3	9,5 ± 1,1	10,7 ± 0,9
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	11,3 ± 1,4	8,6 ± 1,1	8,5 ± 1,1
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	10,7 ± 1,4	8,9 ± 0,7	9,3 ± 0,8
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	11,6 ± 1,3	11,5 ± 0,8	9,1 ± 1,2
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	10,5 ± 1,8 ns	9,1 ± 0,9 ns	7,7 ± 1,1 ns
<b>Turgencia</b>			
Agua + NaClO + AM	12,9 ± 0,4 Ab	11,7 ± 0,6 Aab	9,7 ± 0,9 Aa
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	13,3 ± 0,5 Ab	11,1 ± 0,8 Aab	10,4 ± 0,7 Aa
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,3 ± 0,7 Aa	11,8 ± 0,8 Aa	10,9 ± 0,8 Aa
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,7 ± 0,6 Ab	12,0 ± 0,7 Aab	9,9 ± 0,9 Aa
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,5 ± 0,7 Ab	11,0 ± 0,9 Aab	9,8 ± 0,8 Aa
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	12,0 ± 0,6 Aa	11,2 ± 0,7 Aa	10,1 ± 1,2 Aa
<b>Sabores extraños</b>			
Agua + NaClO + AM	0,8 ± 0,3	1,4 ± 0,5	2,4 ± 0,7
Agua + 0,35 kJ m <sup>-2</sup> + AM	0,9 ± 0,4	1,5 ± 0,6	3,3 ± 0,9
Agua + 5,26 kJ m <sup>-2</sup> + AM	1,1 ± 0,6	2,1 ± 0,8	2,0 ± 0,7
Agua +10,18 kJ m <sup>-2</sup> + AM	1,4 ± 0,6	3,3 ± 1,0	2,7 ± 1,1
Agua +15,09 kJ m <sup>-2</sup> + AM	1,9 ± 0,1	2,5 ± 0,8	1,6 ± 0,4
Agua +20,01 kJ m <sup>-2</sup> + AM	2,5 ± 1,0 ns	2,9 ± 0,9 ns	2,0 ± 0,8 ns

<sup>z</sup> Letras mayúsculas comparan verticalmente y minúsculas comparan horizontalmente, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). ns: No significativo. Los valores son la media ± EE (n=12).

La interpretación de los datos se realizaron mediante los cuadros 5 y 6, expuestas en la sección materiales y métodos.

**Agua + NaClO (BP)****Agua + NaClO + AM****Agua + 0,35 kJ m<sup>-2</sup> + AM****Agua + 5,26 kJ m<sup>-2</sup> + AM**

**Agua + 10,18 kJ m<sup>-2</sup> + AM**



**Agua + 15,09 kJ m<sup>-2</sup> + AM**



**Agua + 20,01 kJ m<sup>-2</sup> + AM**



**Figura 13.** Evolución de color y apariencia de brotes de alfalfa durante 8 días a 5 °C.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

- El uso de películas plásticas de baja permeabilidad para el envasado en AM, junto con la aplicación de radiación UV-C, afectan de forma negativa la calidad sensorial de los brotes.
- El uso de películas plásticas de alta permeabilidad para el envasado en AM, junto con la aplicación de radiación UV-C, resulta efectivo para preservar la calidad microbiológica y sensorial de los brotes.
- Concentraciones gaseosas de 5 a 8% O<sub>2</sub> y de 2 a 4% de CO<sub>2</sub> si bien difieren de las recomendadas, ayudan a mantener la calidad microbiológica y sensorial de los brotes conservados bajo refrigeración.
- El hipoclorito de sodio sigue siendo un sanitizante efectivo para disminuir las poblaciones microbianas, mientras que envasado en AM con bolsas de alta permeabilidad, preserva de mejor forma la calidad de los brotes de alfalfa conservados a 5 °C, que en concentraciones gaseosas similares al aire.
- Dosis altas de radiación UV-C (15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup>) son efectivas para control de microorganismos, como mesófilos, psicrófilos y enterobacterias, manteniendo las características sensoriales del producto y una baja tasa respiratoria en brotes de alfalfa almacenados a 5 °C.
- Dosis medias de radiación (5,26 y 10,18 kJ m<sup>-2</sup>) son efectivas para mantener las características sensoriales de los brotes, sin embargo no controlan el crecimiento microbiano registrando los conteos más elevados. Bajas dosis de radiación UV-C (0,35 kJ m<sup>-2</sup>) preservan de forma óptima la calidad sensorial de los brotes, al igual que las dosis medias y altas de radiación, sin embargo no son efectivas para controlar el crecimiento microbiano durante el periodo de conservación.
- Se podrían realizar nuevas experiencias para determinar la dosis exacta entre 15,09 y 20,01 kJ m<sup>-2</sup> para preservar tanto la calidad microbiológica como sensorial de los brotes de alfalfa conservados a 5 °C.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aenor. 1997. Análisis sensorial. Tomo 1. Alimentación. Recopilación de norma española UNE 87-020-93. Madrid, España. Editorial Aenor. 253p.
- Aguayo, E. 2003. Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco. Tesis (para aspirar al Grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena). Cartagena, España. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. 425p.
- Akbar, A. and R. Razavizadeh. 2005. Effect of UV-C radiation on drought tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) callus. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 8 (9): 1221-1224.
- Aljaro, A. 2008. Una mirada hacia la empresa hortícola de Chile. *Revista Tierra Adentro* 79 (Mayo-Junio): 36-39.
- Allende A. and F. Artés. 2003a. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed '*Lollo Rosso*' lettuce. *Food Research International* 36: 739-746.
- Allende A. and F. Artés. 2003b. Combined ultraviolet- C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce. *Lebensm Wiss Technologies* 36: 779-786.
- Allende, A., E. Aguayo and F. Artés. 2004. Microbial and sensory quality of comercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life. *International Journal of Food Microbiology* 91: 109-117.
- Allende, A., J. McEvoly, L. Yaguang, F. Artés and Ch. 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 (3): 241-49.
- Anónimo. 2009. Recomendaciones "5 porciones 5 colores". Corporación 5 al día. Disponible en: [http://www.5aldiachile.cl/origen\\_programa.php#5porciones](http://www.5aldiachile.cl/origen_programa.php#5porciones). Leído el 5 de agosto de 2009.
- Araya, E. 2006. Curso Evaluación Sensorial de los Alimentos. Guía de laboratorio. Departamento de Agroindustria y Enología. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 68-69.
- Aranceta, J. y C. Pérez. 2006. *Frutas, Verduras y Salud*. 1ª Ed. Barcelona, España. Elsevier - Masson. 80p.

Artés, F. 1976. Estudio y aplicación de membranas de polímeros para generar y estabilizar atmósferas modificadas. Murcia, España. Editorial CEBAS-CSIC. 294p.

Artés-Calero, F. Aguayo y E. Gómez. 2009. Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. Revista Horticultura (20/05). Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/print.php?sid=73132>. Leído el 21 de Septiembre de 2009.

Artés-Hernández, F., 2007. Avances tecnológicos durante el transporte frigorífico hortofrutícola. En: Jornada sobre soluciones tecnológicas en logística y transporte. Cartagena, España Noviembre 2007. Universidad Politécnica. Cartagena, España.

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

Baka, M., J. Mercier, F. Corcuff, F. Castaigne, J. Arul. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. Journal of Food Science 68: 1068-1072.

Barka, E., S. Kalantari, J. Makhlouf, J. Arul. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 667-671.

Bourgeois, C. y J. Mescle. 1994. Microbiología alimentaria. Volumen 1: Aspectos microbiológicos de la seguridad alimentaria y calidad. 1ª Ed. Zaragoza, España. Editorial Acibia S.A. 388p.

Berger, H. 2004. Situación comercial, técnica y de innovación de los productos mínimamente procesados en el gran Santiago, Chile. En: Simposio “Estado actual del mercado de frutas y vegetales cortados en Iberoamérica”. San José, Costa Rica, Abril 2004.

Costa, L., A. Vicente, M. Civello, A. Chaves and A. Martínez. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. Postharvest Biology and Technology 39 (2): 204-210.

Escaff, M. y V. Giacconi 2008. Cultivo de Hortalizas. 15ª Ed. Santiago, Chile. Editorial Universitaria S.A. 336p.

Escalona, V. 1997. Atmósfera modificada y uso de ácido ascórbico en lechugas (*Lactuca Sativa* L.), zanahorias (*Daucus carota* L.) y cebollas (*Allium cepa* L.) de 4a gama. Tesis (para aspirar al grado de ingeniero agrónomo Universidad de Chile). Santiago, Chile. Universidad de Chile. Escuela de agronomía. 95p.

Escalona, V. y L. Luchsinger. 2008. Una Revisión sobre Frutas y Hortalizas mínimamente Procesadas en Fresco. Aconex 98 (Abril- Junio): 24-27.

Fahey, J. and K. Stephenson. 2007. Can fresh vegetable sprouts be produced for human consumption in areas with poor water quality? A pilot study. *Trees for Life Journal* (Enero 2007). Disponible en: [http://www.tfljournal.org/images/articles/20070118144425695\\_3.pdf](http://www.tfljournal.org/images/articles/20070118144425695_3.pdf). Leído el 20 de agosto de 2009.

González, G., M. Villegas, M.A. Martínez, A.A. Gardea and F. Ayala. 2007. Improving Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Mangoes Treated with UV-C. *Journal of Food Science* 72: 197-202.

Gorny, J. and A. Kader. 1996. Fresh-cut products: Maintaining quality and safety. *Postharvest Horticulture* 10: 11-14.

INE. 2007. VII Censo Agropecuario. Superficie Total Sembrada o Plantada por Grupo de Cultivos, Según Región. INE. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/censos\\_agropecuarios/censo\\_agropecuario\\_07.h](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07.h) p. Leído el 5 de Septiembre de 2009.

Kader, A. 2002. Methods of gas mixing, sampling and analysis. En: *Postharvest technology of horticultural crops*. 3ª Ed. EEUU. Universidad de California. 145-148p.

Kim, H., J. Fonseca, C. Kubota. 2008. Quality of fresh-cut tomatoes as affected by SALT content in irrigation water and post-processing UV-C treatment. *Journal of Food Science* 88: 1969- 1974.

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

Lu, J., C. Stevens, V. Kahn, M. Kabwe, C. Wilson. 1991. The effect of ultraviolet irradiation on shelf life and ripening of peaches and apples. *Journal of Food Quality* 14:299-305.

Manresa, A. e I. Vicente. 2007. *El color en la industria de los alimentos*. 1ª Ed. La Habana, Cuba. Editorial Universitaria S.A. 74p.

Maris, S. 2004. La radiación ultravioleta: Una alternativa “no térmica” para la pasteurización de jugos. *Ingeniería Alimentaria* 68: 102-108.

Martínez-Sánchez, A., A. Allende, R. Bennett, F. Ferreres and M.I. Gil. 2006. Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology* 42: 86-97.

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. 150 p.

Pascual, M. y V. Calderón. 2000. Microbiología Alimentaria (Metodología analítica para alimentos y bebidas). 2ª Ed. Madrid, España. Editorial Díaz de Santos. 337p.

Robles, P., A. De Campos, F. Artés- Hernández, P., Gómez, A., Calderón, M., Ferrer y F., Artés. 2007. Acción combinada de la radiación UV-C y la atmósfera controlada para optimizar la calidad del tomate. En: V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena, España 29 de mayo al 1 de junio de 2007.

Sharma, R. R. and A. Demirci. 2003. Inactivation of *E. coli* O157:H7 on alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light. *Journal of Food Science* 68:1448-1453.

Silveira, A.C., E. Aguayo, F. Artés-Hernández and F. Artés .2008. Alternative sanitizers as substitution of chlorine use on fresh-cut 'Galia' (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) melon. *Journal of Food Science* 73: 405-411.

Soylemez, G., M. Brashears, D. Smith and S. Cuppett. 2001. Microbial Quality of Alfalfa Seeds and Sprouts after a Chlorine Treatment and Packaging Modifications. *Food Microbiology and Safety* 66 (1): 153-157.

Suslow, T. and M. Cantwell. 2006. Brotes de semilla: Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. *Postharvest Technology Research & Information center* 3-6.

USDA. 2008. Nutrition Facts and Analysis for Alfalfa seeds, sprouted, raw. Disponible en: <http://www.nutritiondata.com/facts/vegetables-and-vegetable-products/2302/2>. Leído el 21 de Octubre de 2009.

Varoquaux, P., G. Albagnac, C. Nguyen-The and F. Varoquaux. 1996. Modified atmosphere packaging of fresh beansprouts. *Journal of the Science of Food and agriculture* 70: 224-230

Vicente, A., B. Recipe, G. Martinez, A. Chaves, M. Civello, G. Sozzi. 2004. Maintenance of fresh boysenberry fruit quality with UV-C light and heat treatments combined with low storage temperature. *Journal Horticultural Science Biotechnology* 79:246-251.

Vicente, A., C. Pineda, L. Lemoine, P. Civello, G. Martínez and A. Chaves. 2005. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology* 35:69–78.

Watada, A.E. 1997. Quality maintenance of fresh-cut fruit and vegetables. *Food Biotechnology* 6:229-233.

Wiley, R.C. 1994. Introduction of minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Ed.R.C. Wiley. New York Chapman Hall.

## ANEXO I

## Pauta evaluación sensorial panel entrenado

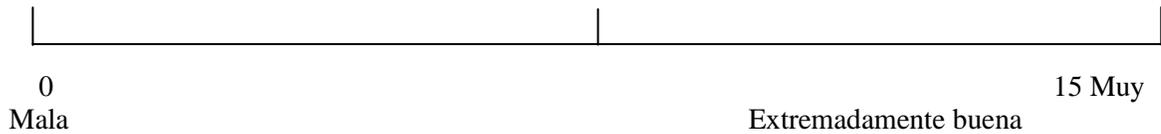
Nombre: ..... Fecha: .....

**Instrucciones:** Por favor, indique con una línea vertical la intensidad de su sensación para cada uno de los atributos evaluados.

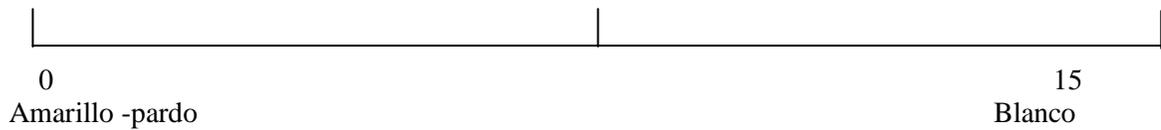
**Aspecto visual**

Muestra N° \_\_\_\_\_

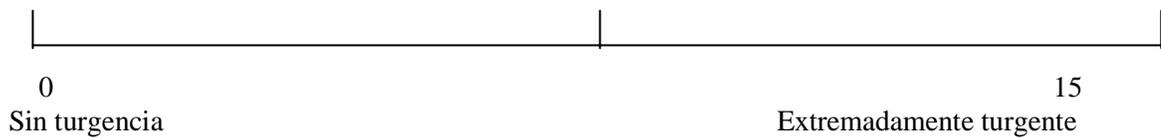
## 1. Apariencia



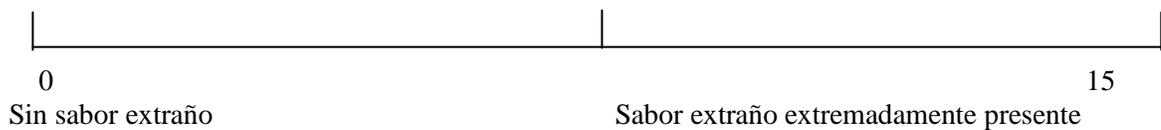
## 2. Intensidad de color

**Aspecto gustativo**

## 1. Turgencia



## 2. Sabores extraños



## ANEXO II

**Cuadro 1.** Norma establecida por el Ministerio de Salud pública para Frutas y otros vegetales comestibles pre-elaborados, listos para consumo

Parámetro	Plan de muestreo				Limite por gramo	
	Categoría	Clases	n	c	m	M
RAM	6	3	5	1	$5 \times 10^4$ (4,69 log)	$5 \times 10^5$ (5,69 log)
Enterobacterias	6	3	5	1	$5 \times 10^3$ (3,69 log)	$5 \times 10^4$ (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	-

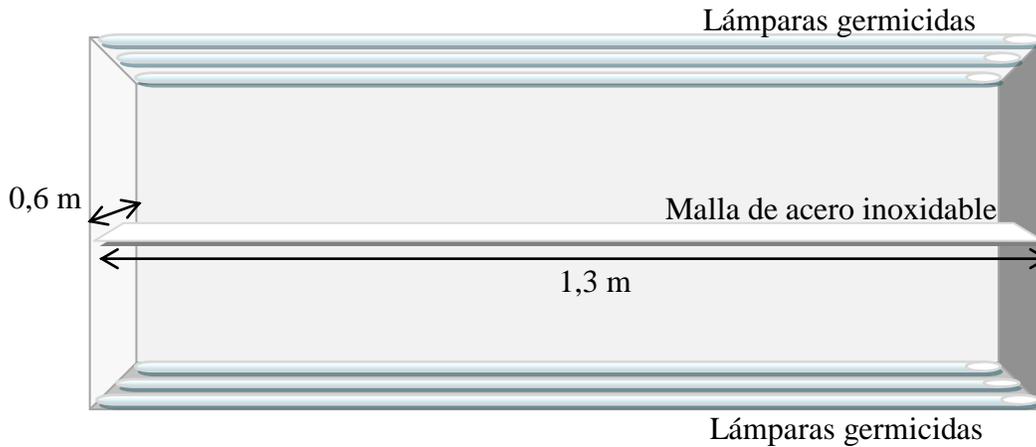
Fuente: Reglamento Sanitario de los alimentos, Ministerio de Salud Pública, Chile, 1997.

n: número de muestras a ser examinadas; m: valor del parámetro microbiológico para el cual o por debajo del cual es 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.

## APÉNDICE I

Calculo de dosis de radiación UV-C emitida por el equipo



$$A_t = L \cdot P$$

$$A_{t \text{ sup inf}} = A_t \cdot 2$$

Siendo

L: largo (m)

P: profundidad (m)

$A_t$ : área total ( $\text{m}^2$ )

$A_{t \text{ sup inf}}$ : área total de la cara superior e inferior de la malla de acero inoxidable ( $\text{m}^2$ )

De tal manera que:

$$A_t = 0,6 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m}$$

$$A_t = 1,56 \text{ m}^2$$

$$A_{t \text{ sup inf}} = 1,56 \text{ m}^2 \cdot 2$$

$$A_{t \text{ sup inf}} = 3,52 \text{ m}^2$$

Cada lámpara emite una intensidad de radiación de 36 W por lo cual las 6 lámparas utilizadas emiten 216 W, y 1 W equivale a  $1 \text{ J s}^{-1}$

$$\text{Dosis emitida por el equipo} = \frac{\text{Intensidad total emitida por lámparas } (\text{J s}^{-1})}{A_{t \text{ sup inf}} (\text{m}^2)}$$

Reemplazando, la dosis de radiación emitida por el equipo en  $\text{kJ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  sería:

$$\text{Dosis emitida por el equipo} = \frac{216 \text{ J s}^{-1}}{3,52 \text{ m}^2} \rightarrow 61,36 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2} \rightarrow 0,061 \frac{\text{kJ}}{\text{s m}^2}$$