

Combinación de tratamiento térmico y atmósfera modificada para la conservación postcosecha de brócoli (*Brassica oleracea var italica*) a 20°C

Thermal and modified atmosphere treatment for post-harvest conservation of broccoli (*Brassica oleracea var italica*) at 20°C

Hasperué JH¹, Lemoine ML¹, Martínez GA², Chaves AR¹.

¹ CIDCA, Facultad de Ciencias Exactas UNLP, CONICET La Plata. Calle 47 y 116, (1900) La Plata, Pcia Buenos Aires, Argentina. Tel/Fax 54-2214249287. E-mail: gmartinez@intech.gov.ar

² IIB-INTECH, Camino de circunvalación Laguna Km 6, Chascomús, Pcia Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

Los tratamientos térmicos de alta temperatura y las atmósferas modificadas por sí solas han sido utilizados como métodos físicos de postcosecha para extender el tiempo de almacenamiento en diferentes productos, convirtiéndose en una posible estrategia al control químico. El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta de brócoli a la atmósfera modificada combinada con un tratamiento térmico de alta temperatura. Para ello se utilizaron cabezas de brócoli que fueron colocadas en bandejas a las que se le los siguientes tratamientos: **a.** Tratamiento térmico combinado con atmósfera modificada (TT+AM): las bandejas se embolsaron con polietileno de baja densidad, se sellaron y luego se sometieron a un tratamiento térmico con aire caliente 48 °C, 3 horas. **b.** Tratamiento térmico (TT+PVC): las bandejas se recubrieron con PVC perforado y se llevaron a estufa con aire caliente a 48 °C, 3 horas. **c.** Control con atmósfera modificada (C+AM): las bandejas se embolsaron con polietileno de baja densidad y sellaron. **d.** Control sin atmósfera modificada (C+PVC): las bandejas se recubrieron con PVC perforado. Todas las bandejas se almacenaron a 20 °C durante 8 días. Se tomaron muestras a los 0, 2, 4, 6 y 8 días de almacenamiento. Se midió la composición de la atmósfera modificada, pérdida de peso, color superficial, clorofilas, fenoles y azúcares totales. La composición de la atmósfera inmediatamente después del tratamiento (TT+AM) fue de 6 % CO₂ y 13 % O₂, posteriormente en el día 8 de almacenamiento la concentración de CO₂ fue de 0.6 % y la de O₂ de 19%, mientras que las muestras (C+AM) al día 8 tuvieron 6 % de O₂ y 2.5 % de CO₂. La pérdida de peso fue significativamente superior en las muestras recubiertas con PVC (C+PVC) y (TT+PVC) con respecto a las muestras que tenían la atmósfera modificada (TT+AM) y (C+AM) no observándose diferencias entre estas dos últimas. En cuanto al color superficial, en el día 4 y 8 de almacenamiento se observó el menor valor de Hue en las muestras (C+PVC), evidenciando un amarillamiento de las cabezas, en tanto que las muestras (TT+AM) presentaron el valor más alto de Hue, demostrando una buena retención del color verde. El contenido de clorofila en las muestras tratadas (TT+AM) presentó la menor tasa de disminución respecto a los demás tratamientos. Por otra parte, en el día 8 el contenido de fenoles en las muestras (TT+AM) disminuyó significativamente respecto a las muestras (TT+PVC) y (C+AM) observándose valores similares a las (C+PVC). El contenido de azúcares totales disminuyó durante el almacenamiento en todas las muestras. Estos resultados permiten concluir la combinación de tratamiento térmico con atmósfera modificada extiende la vida postcosecha de brócoli almacenado a 20 °C.

ABSTRACT

Heat treatments and modified atmospheres are physical methods that can be employed to extend postharvest life during storage of several fruit or horticultural products, being a possible alternative to chemical treatments. In this work, the objective was to analyze the response of broccoli to a combination of heat treatment with modified atmosphere. To do that, broccoli heads were placed in trays and subjected to different treatments. **a.** Heat treatment and modified atmosphere (HT+MA): trays were wrapped with, sealed and heat treated at 48 °C during 3 hours. **b.** Heat treatment (HT+PVC): trays were covered with perforated PVC and heat treated at 48 °C during 3 hours. **c.** Control with modified atmosphere (C+MA): trays were wrapped with low density polyethylene and sealed. **d.** Control without modified atmosphere (C+PVC): trays were covered with perforated PVC. All trays were stored at 20 °C during 8 days. Samples were taken after 0, 2, 4, 6 and 8 days of storage

and composition of the atmosphere, weight loss, superficial color and chlorophyll, phenolics and sugar contents were evaluated. Atmosphere composition was 6 % CO₂ and 13 % O₂ in HT+AM samples immediately after heat treatment. After 8 days of storage, concentration of CO₂ and O₂ was 0.6 % and 19 % respectively, while, samples C+AM had 6 % O₂ and 2.5 % CO₂ after 8 days. Weight loss was significantly higher in samples covered with PVC (C+PVC and TT+PVC) regard to samples stored with modified atmosphere (HT+MA and C+MA). No weight loss differences were detected between HT+MA and C+MA samples. In relation to superficial colour, after 4 and 8 days of storage, lower Hue values were measured C+PVC samples, which is related with yellowing of heads. On the contrary, samples TT+MA showed the higher values of Hue, indicating a good retention of green colour. Similarly, samples treated with the combination (TT+MA) had the lower chlorophyll degradation in relation to the other treatments. Phenolic content decreased significantly after 8 days in samples TT+MA in relation to TT+PVC and C+MA, but values were similar to C+PVC. Content of sugars decreased during storage in all samples regardless the treatment applied. These results indicate that the combination of heat treatment with modified atmosphere allow extending postharvest life of broccoli during storage at 20 °C.

PALABRAS CLAVE: *brócoli, tratamiento térmico, atmósfera modificada, senescencia.*

KEYWORDS: *broccoli, heat treatment, modified atmosphere, senescence.*

INTRODUCCIÓN

El brócoli es un vegetal con alto valor nutricional, que contiene altos niveles de vitaminas, antioxidantes y glucosinolatos (Nestle 1998). Las inflorescencias se cosechan y consumen en estado inmaduro. La cosecha produce un fuerte estrés al vegetal debido a la supresión del suministro de energía, conduciendo al desencadenamiento de la senescencia, la cual se acelera aún más por tratarse de órganos en estado de desarrollo (Page *et al* 2001).

Diferentes tecnologías han sido utilizadas para extender la vida poscosecha de cabezas enteras de brócoli, entre las que se pueden citar la refrigeración (Gillies y Toivonen 1995), tratamiento térmico de alta temperatura (Costa *et al* 2005), radiación UV-C (Costa *et al* 2006) y atmósferas modificadas (Rai *et al* 2008).

Los tratamientos térmicos por calor han sido utilizados en diversos productos vegetales, tales como tomate, manzana y frutilla (Paull 1990, Klein y Lurie 1991, Vicente *et al* 2002). Estos tratamientos provocan un estrés momentáneo en el tejido vegetal que permite retardar procesos tales como maduración y senescencia durante la postcosecha.

En brócoli, estudios realizados con inflorescencias enteras que fueron tratadas con aire caliente a 48°C durante 3 h, y luego almacenadas a 20°C, mostraron un notorio retardo de la senescencia, observándose una menor pérdida del contenido de clorofilas y de antioxidantes y una mejor calidad nutricional del producto (Costa *et al* 2005).

Por otra parte, la conservación en atmósfera modificada también retarda el amarilleamiento y el la senescencia de brócoli, manteniendo su calidad durante el almacenamiento (Barth *et al* 1993).

La combinación de tratamiento térmico y atmósfera modificada ha sido aplicada con éxito para extender la vida de almacenamiento de kaki “Fuyu” (Burmeister *et al* 1997) y de frutillas “Selva” (Vicente *et al* 2003); observándose en ambos casos una mejora respecto a cada tratamiento individual. En el tratamiento combinado se logra el beneficio del tratamiento térmico a la vez que se acelera la producción de la atmósfera modificada por el mismo tratamiento con calor, lográndose una acumulación de CO₂ más rápida (Vicente *et al* 2003).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta de brócoli a la atmósfera modificada combinada con un tratamiento térmico de alta temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y tratamientos

Se utilizaron cabezas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), cosechadas en un establecimiento hortícola del partido de la ciudad de La Plata. Inmediatamente luego de la cosecha se llevaron al laboratorio para la limpieza y selección del material. Las cabezas enteras fueron colocadas en bandejas

plásticas, conteniendo una cabeza cada una. A las bandejas se les realizaron los siguientes tratamientos: 1) Tratamiento térmico combinado con atmósfera modificada (**TT+AM**): quince bandejas se embolsaron con polietileno de baja densidad, se sellaron y luego se sometieron a un tratamiento térmico con aire caliente a 48 °C durante 3 horas; 2) Tratamiento térmico sin atmósfera modificada (**TT+PVC**): quince bandejas se recubrieron con PVC perforado y se llevaron a estufa con aire caliente a 48°C durante 3 horas. 3) Control con atmósfera modificad (**C+AM**): quince bandejas se embolsaron con polietileno de baja densidad y se sellaron; y 4) Control sin atmósfera modificada (**C+PVC**): quince bandejas se recubrieron con PVC perforado. Todas las bandejas se almacenaron a 20 °C durante 8 días. Se tomaron muestras a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento. Las muestras fueron analizadas inmediatamente o congeladas a -20°C hasta su análisis. El ensayo completo se realizó al menos dos veces.

Determinaciones

Composición de la atmósfera dentro de las bandejas. La atmósfera dentro de las bandejas se muestreó con una jeringa para gases de 1 ml y los contenidos de O₂ y CO₂ se determinaron por cromatografía gaseosa empleando un cromatógrafo Shimadzu 6A. Se usó una columna Altech CTR1 y un detector por conductividad térmica. Se utilizó He como gas transportador.

Pérdida de peson Las bandejas se pesaron al inicio de la experiencia y a cada tiempo de muestreo con una balanza granataria. Se realizó la diferencia y los resultados se expresaron como pérdida de peso porcentual respecto al valor inicial.

Color superficial. Se evaluó con un colorímetro Minolta CR-400 midiendo las variables Hue y L en al menos cinco zonas de cada cabeza de brócoli. Se analizaron al menos cuatro cabezas para cada tratamiento y tiempo de muestreo.

Contenido de clorofilas. El contenido de clorofilas se determinó triturando 0,3 g de tejido en acetona: agua (80:20). Luego de centrifugar se determinó el nivel de clorofilas en el sobrenadante empleando el método espectrofotométrico de Lichtenthaler (1987). Los resultados se expresaron como µg de clorofila . g de tejido⁻¹.

Contenido de fenoles totales. El contenido de fenoles se evaluó homogeneizando 2,0 g de tejido congelado con N₂ líquido con 12 ml de etanol. Luego de centrifugar los fenoles se analizaron sobre el extracto etanólico con el reactivo de Folin-Ciocalteau (Lemoine *et al* 2009). Los resultados fueron expresados en µg de fenol . g de tejido⁻¹.

Contenido de azúcares totales. El contenido de azúcares totales fue determinado de acuerdo a Lemoine *et al* (2007), utilizando antrona como reactivo. Los resultados fueron expresados en mg de glucosa . g de tejido⁻¹.

Análisis estadístico. La experiencia se diseñó de acuerdo a un diseño factorial, siendo los factores los tratamientos y el tiempo de almacenamiento. Los resultados se analizaron mediante un ANOVA y las medias se compararon usando el test LSD y 0,05 de nivel de significación (α)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición de la atmósfera modificada. Inmediatamente después del tratamiento térmico la composición de la atmósfera se modificó respecto de la del aire en las muestras TT+AM, conteniendo 6% CO₂ y 13% O₂ debido probablemente a un aumento de la actividad respiratoria de los brócolis durante el calentamiento. Hacia el final del almacenamiento la composición de la atmósfera modificada alcanzada dentro de los envases fue significativamente diferente. En las muestras tratadas térmicamente se halló un 0,6% CO₂ y 19% O₂, mientras que en las bandejas C+AM al día 8 se encontró aproximadamente 6,0% O₂ y 2,5% CO₂ (**Figuras 1 y 2**). El tratamiento térmico provoca un aumento momentáneo de la actividad respiratoria en el momento del calentamiento (Vicente *et al* 2003). Sin embargo el estrés provocado por el calor puede causar un retraso en la aparición de los síntomas de senescencia en brócoli (Costa *et al* 2005), entre ellos el aumento de la tasa respiratoria durante el almacenamiento a 20 °C. La menor concentración de CO₂ en las muestras TT+AM indicaría una menor actividad respiratoria en los brócolis tratados con calor.

Pérdida de peso. La pérdida de peso al final de la experiencia fue de aproximadamente 10% en ambas muestras control, C+PVC y TT+PVC, valor significativamente superior (aproximadamente 3 veces mayor) al de las muestras con atmósfera modificada TT+AM y C+AM, no observándose diferencias entre estas dos últimas (**Tabla 1**).

Tabla 1. Cambios en la pérdida de peso en muestras de brócoli almacenadas a 20 °C durante 8 días.

		Día 0	Día 8
Pérdida de peso (%)	C+PVC	4,5	10,0
	C+AM	2,5	3,6
	TT+PVC	7,7	13,0
	TT+AM	6,1	4,5

C+PVC (controles sin atmósfera modificada)
C+AM (control con atmósfera modificada)
TT+PVC (tratamiento térmico sin atmósfera modificada)
TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada)

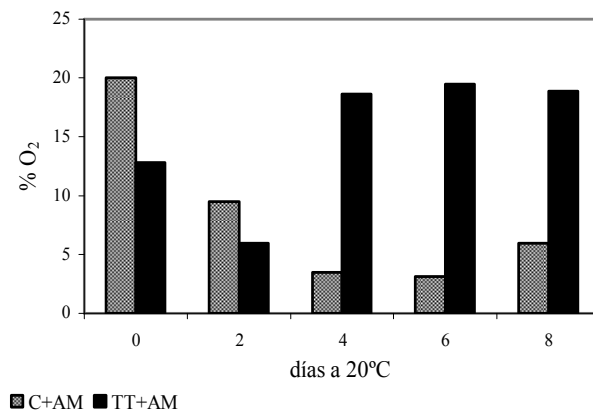


Figura 1. Cambios en el contenido de O₂ de la atmósfera que rodea las muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+AM (control con atmósfera modificada); (tratamiento térmico sin atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

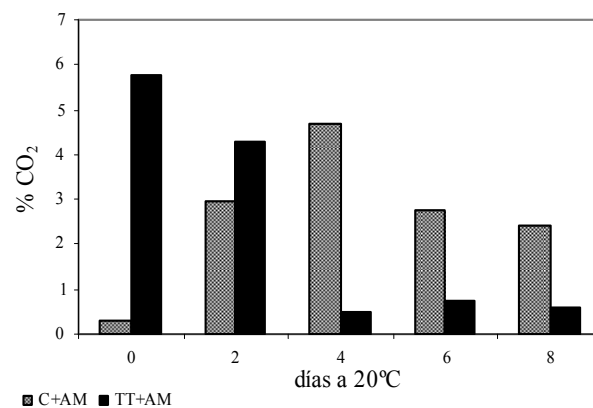


Figura 2. Cambios en el contenido de CO₂ de la atmósfera que rodea las muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+AM (control con atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

Color. El valor inicial del ángulo del color, Hue, fue aproximadamente 160. Durante el almacenamiento las muestras control con y sin AM (C+PVC y C+AM) exhibieron valores de hue hacia el día 8 de 65 y 110 respectivamente, indicando una importante pérdida del color verde (**Figura 3**). En cambio, en las muestras tratadas térmicamente se observó en las empaquetadas con PVC una disminución del ángulo hue de aproximadamente 40% respecto al valor inicial. Para el tratamiento TT+AM, los valores de Hue fueron de 159 y 157 hacia los días 4 y 8 de almacenamiento, demostrando una buena retención del color verde.

Tendencias similares se observaron en cuanto a los resultados que se obtuvieron con los valores de L, siendo al día 4 y 8 de almacenamiento, los valores significativamente superiores en todos los tratamientos respecto del TT+AM, indicando ello un amarilleamiento más avanzado en las muestras C+AM, C+PVC y TT+PVC (**Figura 4**). Las diferencias más marcadas en color entre los tratamientos

con atmósfera modificada (TT+AM y C+AM) se evidenciaron recién hacia el día 8 de almacenamiento.

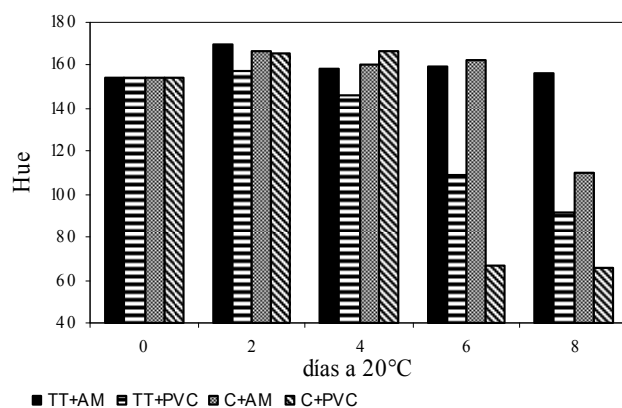


Figura 3. Cambios en el ángulo Hue de muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+PVC (controles sin atmósfera modificada); C+AM (control con atmósfera modificada); TT+PVC (tratamiento térmico sin atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

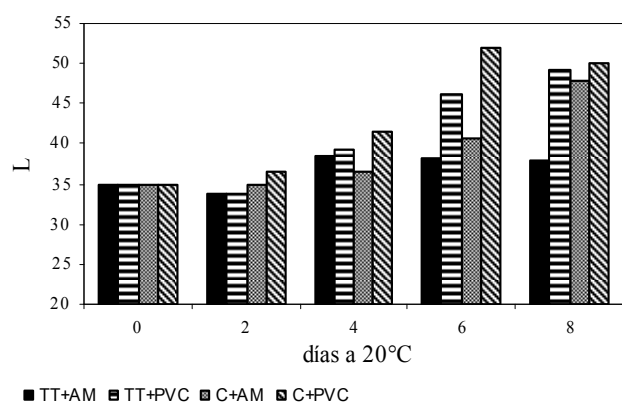


Figura 4. Cambios en los valores de L de muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+PVC (controles sin atmósfera modificada); C+AM (control con atmósfera modificada); TT+PVC (tratamiento térmico sin atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

Contenido de clorofila. Los contenidos de clorofila sufrieron una caída a lo largo del almacenamiento en todos los tratamientos. Sin embargo, las muestras TT+AM mostraron una menor caída durante al almacenamiento. Hacia el día 8 los contenidos de clorofila de los brócolis C+PVC, C+AM y TT+PVC fueron 35, 60 y 47 $\mu\text{g} \cdot \text{g tejido}^{-1}$ respectivamente (**Figura 5**), mientras que en el tratamiento combinado solamente se perdió un 30 % del valor inicial, llegándose a valores cercanos a 150 $\mu\text{g} \cdot \text{g tejido}^{-1}$, indicando que estas cabezas de brócoli mantuvieron más alto el contenido de clorofilas totales durante al almacenamiento. Un comportamiento similar se observó también en los contenidos de clorofila a y b (datos no mostrados).

Contenido de azúcares totales. Durante la senescencia de brócoli se observa una disminución del contenido de azúcares (Costa *et al* 2005). En nuestro caso, el contenido inicial de azúcares totales fue de aproximadamente 30,7 mg.g de tejido⁻¹ (**Figura 6**). Sin embargo, las muestras tratadas térmicamente Luego del tratamiento térmico hubo un descenso en el nivel de azúcares del 15%. Esta disminución pudo deberse a que los azúcares fueron consumidos en mayor medida dado el incremento en la respiración durante el tratamiento térmico. Posteriormente, se detectó un descenso en el contenido de azúcares totales a lo largo de todo el período de almacenamiento la cual fue similar en todos los tratamientos, llegando al día 8 con valores aproximados a 20 mg.g⁻¹.

Contenido de fenoles. Los fenoles representan un grupo de compuestos de importancia en los vegetales dado que los mismos contribuyen al poder antioxidante. El contenido de fenoles en el día de la cosecha fue de 621,4 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$. En los brócolis C+PVC dicho nivel descendió prácticamente a la

mitad hacia el final del almacenamiento (**Figura 7**) al igual que en las muestras TT+AM. Por su parte, en las muestras C+AM y TT+PVC se observó un descenso del contenido de fenoles de sólo 13 y 5% respectivamente.

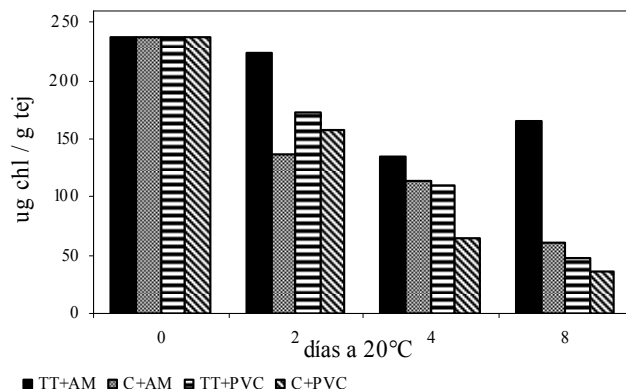


Figura 5. Cambios en el contenido de clorofila de muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+PVC (controles sin atmósfera modificada); C+AM (control con atmósfera modificada); TT+PVC (tratamiento térmico sin atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

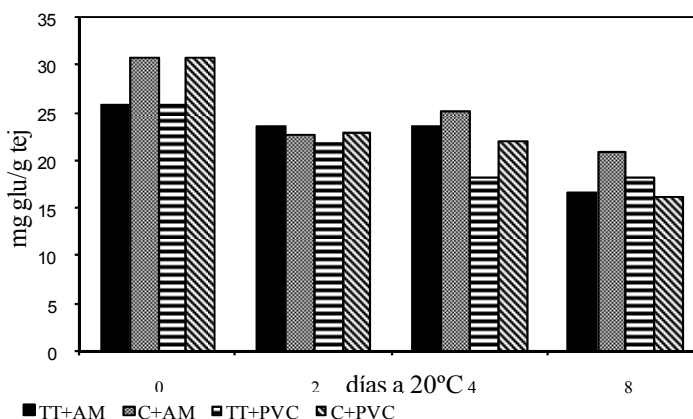


Figura 6. Cambios en el contenido de azúcares totales de muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+PVC (controles sin atmósfera modificada); C+AM (control con atmósfera modificada); TT+PVC (tratamiento térmico sin atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

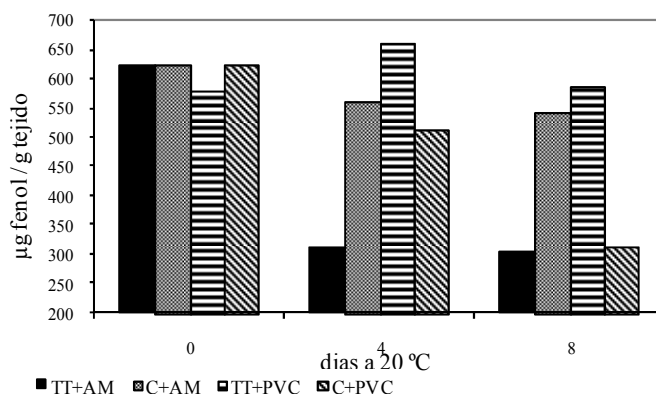


Figura 7. Cambios en el contenido de fenoles totales de muestras de brócoli durante al almacenamiento a 20 °C. C+PVC (controles sin atmósfera modificada); C+AM (control con atmósfera modificada); TT+PVC (tratamiento térmico sin atmósfera modificada); TT+AM (tratamiento térmico en presencia de atmósfera modificada).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que la combinación de tratamiento térmico y atmósfera modificada permite extender la vida postcosecha de brócoli en mejores condiciones que cada tratamiento individual. Los tratamientos térmicos sub-letales causan un aumento momentáneo de la actividad respiratoria. En nuestro caso, se observó una acumulación prematura de CO₂ en aquellas muestras almacenadas en películas. Probablemente esto haya causado que el efecto de las atmósferas modificadas se produzca prematuramente en estas muestras (TT+AM), el cual se muestra más tardío en las muestras que no sufrieron tratamiento térmico (C+AM). La aditividad del efecto de los tratamientos fue muy notoria en el caso de la pérdida de color superficial y degradación de clorofilas, pero no fue así en el caso del consumo de azúcares.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado con fondos aportados por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica ANPCYT (PICT 25283).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barth MM, Kerbel FL, Perry AK and Schmidt SJ. 1993. Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli. *Journal of Food Science* 58(1): 140–143.
- Burmeister DM, Ball S, Green S, Woolf AB. 1997. Interaction of hot water treatments and controlled atmosphere storage on quality of ‘Fuyu’ persimmons. *Postharvest Biol. Technol.* 12: 71-81.
- Costa ML, Civello PM, Chaves AR, & Martínez GA. 2005. Effect of hot air treatments on senescence and quality parameters of harvested broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*) heads. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 1154–1160.
- Costa ML, Vicente AR, Civello PM, Chaves AR, & Martínez GA. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, 39(2): 204–210.
- Gillies SL, & Toivonen PMA. 1995. Cooling method influences the postharvest quality of broccoli. *HortScience*, 30: 313–315.
- Klein JD, Lurie S. 1991. Postharvest heat treatment and fruit quality. *Postharv. News Info.* 2: 15-19.
- Lemoine ML, Civello PM, Martínez GA, & Chaves AR. 2007. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 1132–1139.
- Lemoine ML, Civello PM, Chaves AR, & Martínez GA. 2009. Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage. *LWT – Food Science and Technology* 42: 1076–1081.
- Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350–382.
- Nestle M. 1998. Broccoli sprouts in cancer prevention. *Nutrition Reviews*, 56: 127–130.
- Page T, Griffiths G., & Buchanan-Wollaston V 2001. Molecular and biochemical characterization of postharvest senescence in broccoli. *Plant Physiology*, 125: 718–727.
- Paull RE. 1990. Postharvest heat treatments and fruit ripening. *Postharv. News Info.* 1: 355-363.
- Rai DR, Tyagi SK, Jha SN, & Mohan S. 2008. Qualitative changes in the broccoli (*Brassica oleracea* *italica*) under modified atmosphere packaging in perforated polymeric film. *Journal of Food Science and Technology*, 45(3): 247–250.

Vicente AR, Civello PM, Martinez GA, Chaves AR. 2002. Quality of heat-treated strawberries during refrigerated storage. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 59-71.

Vicente AR, Martinez GA, Chaves AR, Civello PM. 2003. Influence of self-produced CO₂ on postharvest life of heat treated strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 27: 265-275.