

Aceptabilidad de lechuga de hoja fresca troceada, tratada con ácido ascórbico mediante hidrocenfriamiento*

Acceptability of fresh cut leaf lettuce treated with ascorbic acid applied by hydrocooling

Juan Ramón Esparza-Rivera¹, Agustín Navarro Bravo², Patricia Kendall³, Manuel Fortis Hernández⁴, Pablo Preciado Rangel⁴ y Jorge Armando Meza Velázquez^{1§}

¹Facultad de Ciencias Químicas Gómez Palacio, Universidad Juárez del Estado de Durango. Avenida Artículo 123 S/N, Fraccionamiento Filadelfia C. P. 35010. Gómez Palacio, Durango. Tel. 871-7158810. Gómez Palacio, Durango. (jresparza02001@yahoo.com). ²Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México, C. P. 56250. Tel y Fax. 01 595 92 1 26 81. (navarro468@yahoo.com.mx). ³Department of Food Science and Human Nutrition, Colorado State University; Fort Collins, Colorado, EU. Tel. 970-491-3663. (Kendall@cahs.colostate.edu). ⁴Instituto Tecnológico de Torreón; Torreón, Coahuila. Tel. 871-750-7198. (mforty05@yahoo.com.mx), (ppreciador@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: jameza20002000@yahoo.com.mx.

Resumen

Se evaluó el efecto del ácido ascórbico aplicado mediante dos métodos de hidrocenfriamiento sobre la aceptabilidad general, sabor y apariencia de lechuga verde de hoja troceada, así como la relación entre el sabor y la apariencia de la lechuga de hoja procesada sobre la aceptabilidad general de este producto. La lechuga de hoja fue hidrocenfriada con una solución de ácido ascórbico al 1% mediante inmersión y aspersión, o con agua por inmersión. Se uso como control a lechuga no hidrocenfriada. Las soluciones para tratamientos fueron aplicadas a 5 °C por 2 min, y la lechuga fue luego empacada en bolsas de polietileno impermeables a la humedad, almacenada a 5 °C por 14 días, y evaluada en los días 1, 7 y 14 de almacenamiento. La aceptabilidad general de la lechuga de hoja procesada (troceada y empacada) estuvo altamente correlacionada con su sabor ($R^2=0.85$), pero no con su apariencia ($R^2=0.39$). Todos los tratamientos mantuvieron sus valores de aceptabilidad general y sabor durante el almacenamiento de 14 días ($p>0.05$). Sin embargo, la lechuga hidrocenfriada mediante aspersión con ácido ascórbico y la no hidrocenfriada (control) fueron los únicos tratamientos que mantuvieron su apariencia durante el estudio. Es requerida más experimentación con la

Abstract

We assessed the effect of ascorbic acid, applied by two hydrocooling methods, on the overall acceptability, taste and appearance of cut green leaf lettuce, and the relationship between the taste and appearance of processed leaf lettuce regarding the overall acceptability of this product. Leaf lettuce was hydrocooled with a solution of 1% ascorbic acid by immersion and spraying, or by immersion in water. Non-hydrocooled lettuce was used as control. The treatment solutions were applied at 5 °C for 2 min, and the lettuce was then packed in polyethylene bags, impervious to moisture, stored at 5 °C for 14 days, and evaluated after 1, 7 and 14 days of storage. The overall acceptability of processed leaf lettuce (cut and packed) was highly correlated with its taste ($R^2=0.85$), but not with its appearance ($R^2=0.39$). All treatments maintained the overall acceptability values and taste of the lettuce during the 14 days of storage ($p>0.05$). However, the lettuce that was hydrocooled by spraying with ascorbic acid, and the non-hydrocooled lettuce (control) were the only treatments that maintained appearance during the study. Further experimentation with the application of ascorbic acid by hydrocooling

* Recibido: abril de 2012
Aceptado: enero de 2013

aplicación de ácido ascórbico mediante hidrogenación para garantizar su utilidad para la conservación de la calidad sensorial de la lechuga de hoja procesada durante su almacenamiento.

Palabras clave: evaluación sensorial, enfriamiento, vegetales, vitamina C.

Introducción

El consumo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) ha tenido un incremento en años recientes tanto como lechuga entera lavada y empacada mínimamente procesada, así como troceada y empacada sola o como parte de ensaladas (Cappozzi *et al.*, 2009). La variedad de lechuga más producida y consumida a nivel mundial es la *Iceberg* o lechuga de cabeza, mientras que el consumo de las variedades Romaine y de hoja se ha incrementado más del 200% de 1990 a 2005 (Cook, 2011; USDA, 2011).

Éstos volúmenes de consumo hacen que la lechuga se ubique entre los productos vegetales frescos con más consumo mundialmente. Sin embargo, este vegetal de hoja es un producto perecedero cuya vida de anaquel, dependiendo de la variedad, puede ser de 2 a 4 semanas cuando es almacenada a temperaturas cercanas a los 0 °C. Por otra parte, la calidad sensorial de la lechuga es óptima cuando está recién cosechada, y después disminuye durante las etapas poscosecha como procesamiento y almacenamiento (Saltveit, 2004).

Se ha reportado que la preparación de lechuga como producto fresco cortado (fresca, troceada y empacada) induce cambios fisiológicos y bioquímicos que incluyen daños en paredes celulares y tejidos (Zhan *et al.*, 2009; Wagstaff *et al.*, 2010), incremento en ritmo respiratorio y producción de etileno, inducción de síntesis de metabolitos secundarios, activación de mecanismos defensivos (Ma *et al.*, 2010), y ruptura de membranas (González y Barret, 2010). Asimismo, los productos frescos troceados en general sufren pérdida de la estructura celular durante las operaciones de corte, lo cual permite interactuar a la polifenol oxidasa (PPO) con compuestos fenólicos oxidables presentes naturalmente en el producto, causando oscurecimiento de las superficies cortadas (González y Barret, 2010).

is required to ensure its usefulness for maintaining the sensory quality of processed leaf lettuce during storage.

Keywords: cooling, sensory evaluation, vegetables, vitamin C.

Introduction

The consumption of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) has increased in recent years, alone or as part of salads in the form of minimally processed, washed and packaged whole lettuce, or cut and packaged, (Cappozzi *et al.*, 2009). The most commonly produced and consumed variety of lettuce worldwide is the *Iceberg*, or head lettuce, while the consumption of the Romaine and leaf varieties has increased over 200% from 1990 to 2005 (Cook, 2011; USDA, 2011).

These volumes make lettuce one of the most widely consumed fresh vegetables in the world. However, this leaf vegetable is a perishable product whose shelf life, depending on the variety, might be 2 to 4 weeks when stored at temperatures close to 0 °C. The sensory quality of lettuce is optimal when freshly harvested, and then decreases during postharvest stages such as processing and storage (Saltveit, 2004).

It has been reported that the preparation of lettuce as a fresh-cut product (fresh cut and packaged) induces biochemical and physiological changes which include damage to cellular walls and tissues (Zhan *et al.*, 2009; Wagstaff *et al.*, 2010), increased respiration rate and ethylene production, induction of secondary metabolite synthesis, activation of defense mechanisms (Ma *et al.*, 2010), and disruption of membranes (González and Barrett, 2010). Additionally, cut fresh products generally suffer loss of cellular structure during cutting operations, which allows polyphenol oxidase (PPO) to interact with oxidized phenolic compounds naturally present in the product, causing browning of the cut surfaces (González and Barret, 2010).

Another effect related with the processing (cutting and chopping) of lettuce is the increase in the enzymatic activity of phenylalanine ammonia lyase, which tends to

Otro efecto relacionado con el procesamiento (corte y troceado) de la lechuga es el aumento en la actividad enzimática de la fenilalanina amonía liasa, lo cual tiende a producir nuevos compuestos fenólicos que son sustrato para enzimas oxidativas como la polifenol oxidasa (Salveit y Choi, 2007; Zhan *et al.*, 2009). De igual manera, algunos atributos sensoriales que determinan la aceptabilidad de este vegetal de hoja (p.e. apariencia, sabor, color y textura) pueden ser afectados por el desarrollo de problemas de calidad como oscurecimiento y cambios texturales durante el procesamiento y almacenamiento (Saltveit, 2004). Así pues, durante el procesamiento y almacenamiento se presentan varios problemas que afectan la calidad de la lechuga tanto mínimamente procesada como fresca troceada, por lo que es necesario implementar medidas preventivas para mantener los atributos sensoriales de este producto vegetal procesado.

Existen tratamientos físicos y químicos utilizados para mantener la calidad sensorial postcosecha en productos vegetales, tales como el enfriamiento o la aplicación de compuestos químicos como agentes reductores (antioxidantes). Se ha reportado que el factor más importante que determina la calidad postcosecha de la lechuga es la temperatura de almacenamiento, ya que esta afecta la actividad enzimática, deshidratación y ritmo respiratorio del producto (Saltveit, 2004).

El enfriamiento ayuda a mantener atributos sensoriales de la lechuga tales como apariencia, sabor y textura por periodos más prolongados (Zhan *et al.*, 2009), ya que el enfriamiento retarda la respiración, maduración, deshidratación y deterioro en productos vegetales recién cortados (Ferreira *et al.*, 1994; Isik y Celik, 2006). Es claro que es crítico el enfriamiento de la lechuga inmediatamente después de su cosecha, así como el almacenamiento del producto a temperaturas cercanas a 0 °C para reducir su metabolismo poscosecha, lo cual contribuye en el mantenimiento de la calidad sensorial de este vegetal sensitivo por periodos más prolongados (Kang y Saltveit, 2002).

Un método utilizado para enfriar vegetales de hoja es el hidrogenfriamiento, el cual es un procedimiento aplicado para reducir la temperatura de vegetales y frutas recién cosechadas con el uso de agua fría. Existen varios métodos de hidrogenfriamiento, pero los más comunes para productos vegetales frescos son el hidrogenfriamiento por inmersión y por aspersión (Thompson, 2004). Por otro lado, dentro de los métodos químicos usados para mantener la calidad sensorial de frutas y vegetales durante etapas postcosecha incluye la aplicación de agentes reductores o antioxidantes tales como

produce new phenolic compounds that serve as substrates for oxidative enzymes such as polyphenol oxidase (Salveit and Choi, 2007; Zhan *et al.*, 2009). Similarly, some sensory attributes that determine the acceptability of this leaf vegetable (e.g. appearance, taste, color and texture) can be affected by the development of quality problems such as browning and textural changes during processing and storage (Saltveit, 2004). Thus, during processing and storage there are several problems that affect the quality of both minimally processed and fresh-cut lettuce which make it necessary to implement preventive measures in order to maintain the sensory attributes of this processed plant product.

There are physical and chemical treatments for maintaining the postharvest sensory quality of plant products, such as cooling or the application of chemicals such as reducing agents (antioxidants). It has been reported that the most important factor which determines the postharvest quality of the lettuce is storage temperature, as it affects the enzymatic activity, dehydration and respiratory rate of the product (Saltveit, 2004).

Cooling helps maintain the sensory attributes of lettuce such as appearance, taste and texture for longer periods (Zhan *et al.*, 2009), since cooling retards breathing, maturation, dehydration and deterioration of freshly cut plant products (Ferreira *et al.*, 1994; Isik and Celik, 2006). Clearly, cooling the lettuce immediately after harvest is critical, as well as storing the product at temperatures near 0 °C in order to reduce postharvest metabolism, which helps in maintaining the sensory quality of this sensitive vegetable for longer periods (Kang and Saltveit, 2002).

A method used for cooling leaf vegetables is hydrocooling, which is a procedure used to reduce the temperature of freshly harvested fruits and vegetables with the use of cold water. There are several hydrocooling methods, but the most commonly used in fresh plant products are hydrocooling by immersion and by spraying (Thompson, 2004). Furthermore, the chemical methods used for maintaining the sensory quality of fruits and vegetables during postharvest stages include the application of reducing agents, or antioxidants, such as sulfites and ascorbic acid (or vitamin C), applied mainly as antibrowning agents (Ibrahim *et al.*, 2012).

Sulfites are effective inhibitors that prevent enzymatic reactions (competitive inhibitors of polyphenol oxidase) and non-enzymatic browning reactions (Ma *et al.*,

los sulfitos y el ácido ascórbico (o vitamina C), los cuales se aplican principalmente como agentes preventivos del oscurecimiento (Ibrahim *et al.*, 2012).

Los sulfitos son efectivos agentes inhibidores que previenen reacciones enzimáticas (inhibidores competitivos de la polifenol oxidasa), y reacciones de oscurecimiento no enzimático (Ma *et al.*, 2010). Sin embargo, la FDA ha prohibido el uso de sulfitos en productos vendidos como no procesados debido a reportes de reacciones adversas en la salud de personas asmáticas atribuibles a su consumo (Sapers, 1993). El ácido ascórbico (AA) es una buena alternativa como agente preservador en productos vegetales sensitivos como la lechuga.

Éste compuesto hidrosoluble, también conocido como vitamina C, es uno de los antioxidantes más abundantes en los productos vegetales, cuya principal función es proteger a la planta contra estrés oxidativo (Ma *et al.*, 2010; Ibrahim *et al.*, 2012). Además, este agente reductor tiene propiedades bactericidas (Burnham *et al.*, 2001), y generalmente es reconocido como seguro como aditivo alimenticio. Existe evidencia de la efectividad del ácido ascórbico como agente inhibidor de oscurecimiento en productos vegetales sensitivos como peras (Dong *et al.*, 2000), y mangos (Plotto *et al.*, 2010).

La actividad inhibitoria del oscurecimiento del ácido ascórbico consiste en la reducción de *o*-quinonas generadas durante la oxidación de compuestos fenólicos por la polifenol oxidasa (Sapers, 1993; Ma *et al.*, 2010). Igualmente ha sido comprobado que esta vitamina hidrosoluble difunde a través de los tejidos de la lechuga de hoja, lo cual resulta una ventaja adicional del uso del AA, ya que la efectividad de las disoluciones químicas para mantener la calidad sensorial de productos vegetales no depende únicamente de la reactividad y concentración del reactivo en la solución, sino también del ritmo de difusión del compuesto a través de los tejidos del vegetal (Castañer *et al.*, 1996).

Además, el tratamiento de la lechuga consistente en la aplicación de vitamina C incrementa el valor nutricional de este vegetal (Roura *et al.*, 2003), reportando Esparza *et al.* (2006) un aumento de 300% en el contenido de ácido ascórbico en lechuga verde de hoja hidrofriada por inmersión o por aspersión con una solución de AA al 1%.

El aumento en contenido de ácido ascórbico en el producto es benéfico tanto para el consumidor como para el producto vegetal, ya que Zhan *et al.* (2009) reportan que los tejidos

2010). However, the FDA has banned the use of sulfites in unprocessed products due to reports of adverse health reactions in people with asthma attributable to its consumption (Sapers, 1993). Ascorbic acid (AA) is a good alternative as a maintaining agent in sensitive vegetable products such as lettuce.

This water-soluble compound, also known as vitamin C, is one of the most abundant antioxidants in plant products; its main function is to protect the plant against oxidative stress (Ma *et al.*, 2010; Ibrahim *et al.*, 2012). Furthermore, this reducing agent has bactericidal properties (Burnham *et al.*, 2001) and is generally recognized as a safe food additive. There is evidence of the effectiveness of ascorbic acid as an inhibitor of browning in sensitive plant products such as pears (Dong *et al.*, 2000), and mango (Plotto *et al.*, 2010).

The browning inhibition activity of ascorbic acid involves the reduction of *o*-quinones produced during the oxidation of phenolic compounds by polyphenol oxidase (Sapers, 1993, Ma *et al.*, 2010). It has also been found that this water-soluble vitamin diffuses through the tissues of the leaf lettuce, which is an additional advantage of the use of AA, since the effectiveness of the chemical solutions in maintaining the sensory quality of plant products depends not only on the reactivity and concentration of the reagent in the solution, but also on the rate of diffusion of the compound through the plant tissues (Castañer *et al.*, 1996).

Furthermore, treating the lettuce by applying vitamin C increases the nutritional value of this plant (Roura *et al.*, 2003); Esparza *et al.* (2006) reported a 300% increase in the ascorbic acid content of green leaf lettuce hydrocooled by immersion or by spraying with a solution of 1% AA.

The increase in the ascorbic acid content of the product is beneficial for the consumer as well as for the plant product; Zhan *et al.* (2009) reported that plant tissues that contain high levels of AA are better able to control radicals of reactive oxygen species (ROS), whereas in plants with low levels of ascorbic acid this compound is rapidly consumed, which induces the synthesis of phenolic compounds to protect the product against ROS.

Based on the above, the aim of this study was to evaluate the overall acceptability, taste and texture of fresh cut green leaf lettuce (Waldmann's dark green cultivar) treated with ascorbic acid by two hydrocooling methods (immersion

vegetales que contienen altos niveles de AA están mejor preparados para controlar los radicales de especies reactivas del oxígeno (ROS), mientras que en vegetales con bajos niveles de ácido ascórbico este compuesto es consumido rápidamente, lo cual induce a la síntesis de compuestos fenólicos para defender al producto contra las ROS.

Con base en lo anterior el objetivo del estudio consistió en evaluar la aceptabilidad general, sabor y textura de lechuga verde de hoja (Waldmann's dark green cultivar) fresca troceada, tratada con ácido ascórbico mediante dos métodos de hidrogenfriamiento (inmersión y aspersion) durante un almacenamiento de 14 días a 5 °C; además de la correlación entre los atributos sabor y apariencia con la aceptabilidad general de la lechuga verde de hoja procesada.

Materiales y métodos

Materiales y muestras experimentales. Las plantas de lechuga Waldmann's utilizadas en el estudio fueron sembradas y cosechadas en un campo de Fort Collins, CO. Sesenta semillas de lechuga (Johnny's Selected Seeds, Albion, ME, USA) fueron sembradas en un invernadero de la Colorado State University, y las plántulas de lechuga fueron trasplantadas a las cuatro semanas después de su siembra. Cuarenta y cuatro plantas enteras de lechuga fueron cosechadas manualmente usando un cuchillo afilado para cortar las plantas de lechuga al nivel del suelo.

Las lechugas fueron transportadas al laboratorio en contenedores 30 min después de la cosecha, fueron preparadas para aplicación de tratamientos una hora posterior a la cosecha, se lavaron con agua potable (cloro libre residual 0.5 mg/L, pH 7.9) a 20 ± 1 °C durante 5 min, removiendo las hojas externas dañadas y sucias. Las plantas de lechuga enteras fueron colocadas en contenedores plásticos de 68 L (Sterilite, Townsend, MA, USA), y se dejaron escurriendo por 10 min a temperatura ambiente (~ 20 °C), se colocaron de 10 a 12 plantas por contenedor. Las 44 plantas de lechuga lavadas y escurridas fueron distribuidas aleatoriamente en cuatro tratamientos, cada tratamiento con once plantas.

Tratamientos. Cuatro tratamientos fueron aplicados dentro de las 4 h siguientes a la cosecha. Éstos tratamientos incluyeron: 1) hidrogenfriamiento por inmersión con solución de ácido ascórbico al 1% peso/volumen (inmersión con ácido ascórbico); 2) hidrogenfriamiento por inmersión con

and spraying) during a storage period of 14 days at 5 °C; and also the correlation between the appearance and taste attributes and the overall acceptability of processed green leaf lettuce.

Materials and methods

Materials and experimental samples. The Waldmann's lettuce plants used in this study were planted and harvested in a field in Fort Collins, CO. Sixty lettuce seeds (Johnny's Selected Seeds, Albion, ME, USA) were planted in a greenhouse of Colorado State University, and the lettuce seedlings were transplanted four weeks after planting. Forty-four whole lettuce plants were harvested by hand using a sharp knife to cut the lettuce plants at ground level.

The lettuces were transported in containers to the laboratory 30 min after harvest, prepared for the application of treatments one hour after harvest, and washed with drinking water (free chlorine residual 0.5 mg/L, pH 7.9) at 20 ± 1 °C for 5 min, removing damaged and dirty outer leaves. Whole lettuce plants were placed in 68 L plastic containers (Sterilite, Townsend, MA, USA) and were left draining for 10 min at room temperature (~ 20 °C); 10 to 12 plants were placed in each container. The 44 lettuce plants, washed and drained, were randomly distributed into four treatments, eleven plants per treatment.

Treatments. Four treatments were applied within 4 h after harvest. These treatments included: 1) hydrocooling by immersion with 1% w/v ascorbic acid solution (immersion with ascorbic acid); 2) hydrocooling by immersion with drinking water (immersion with water); 3) hydrocooling by spraying with 1% w/v ascorbic acid solution (spraying with ascorbic acid); and 4) no treatment (control). Lettuces hydrocooled with drinking water and with no treatment served as controls. The 1% ascorbic acid solution was prepared 5-10 min before application by diluting reagent grade ascorbic acid (Sigma, St. Louis, MO, USA) in drinking water at 5 °C. The pH of the 1% ascorbic acid solution was 3.

Hydrocooling by immersion was performed by immersing the washed lettuce plants for 2 min in a 68 L plastic container with 45 L of cooling solution (1% ascorbic acid solution or drinking water) at 5 °C. Three lettuce plants were treated at

agua potable (inmersión con agua); 3) hidrogenfriamiento por aspersión con solución de ácido ascórbico al 1% p/v (aspersión con ácido ascórbico); y 4) sin tratamiento (control). Hidrogenfriamiento con agua potable y sin tratamiento sirvieron como controles comparativos. La solución de ácido ascórbico al 1% fue preparada 5 a 10 min antes de su aplicación diluyendo ácido ascórbico grado reactivo (Sigma, St. Louis, MO, USA) en agua potable a 5 °C. El pH de la solución de ácido ascórbico al 1% fue 3.

El hidrogenfriamiento por inmersión fue realizado sumergiendo las plantas de lechuga lavadas por 2 min en un contenedor plástico de 68 L que tenía 45 L de solución de enfriamiento (solución de ácido ascórbico al 1% o agua potable) a 5 °C. Tres plantas de lechuga fueron tratadas al mismo tiempo, posteriormente fueron removidas de la solución de enfriamiento y colocadas en contenedores plásticos por 5 min para drenar el exceso de solución previamente al empaquetado.

El hidrogenfriamiento por aspersión se realizó colocando las plantas de lechuga (una a la vez) dentro de un contenedor plástico, y luego se aplicó por 2 min la solución respectiva (agua potable o solución de ácido ascórbico al 1%) a 5 °C a un ritmo de 50 aplicaciones del aspersor/min usando una botella plástica de 24 oz con aspersor (The Bottle Crew®, West Bloomfield, MI, USA), a una distancia de 35 a 40 cm de la pieza de lechuga. Las plantas de lechuga fueron volteadas un mínimo de dos veces durante el tratamiento, y luego colocadas en contenedores plásticos por 5 min para drenar el exceso de solución. Las plantas de lechuga control no recibieron tratamiento adicional al lavado inicial a 20 °C y drenado.

Después del drenado del exceso de solución las plantas de lechuga de todos los tratamientos y el control fueron empaquetadas en bolsas de 49 L de polietileno de un grosor de 20 µm impermeables a la humedad (Great Value, Wal-Mart®, Bentonville, AR, USA). Se colocó una planta de lechuga por bolsa, y todas las plantas de lechuga empaquetadas fueron almacenadas a 5 ± 1 °C por 14 días.

Preparación de muestras. Tres plantas de lechuga fueron lavadas durante 2 min con agua potable (22 a 25 °C), y secadas con toallas de papel secante previamente a cada sesión de evaluación sensorial. Las muestras para degustar fueron preparadas y cortadas con un cuchillo (excluyendo las partes de las hojas sin color y el tallo central) en trozos de aproximadamente 5 x 10 cm. La lechuga troceada fue empaquetada dentro de bolsas transparentes tipo zip-bag de 16 x 9 cm impermeables a la humedad, con 10 a 15 g de hoja por bolsa.

the same time; they were subsequently removed from the cooling solution and placed in plastic containers for 5 min to drain the excess solution prior to packaging.

Hydrocooling by spraying was performed by placing the lettuce plants (one at a time) in a plastic container, and then applying the respective solution for 2 min (drinking water or 1% ascorbic acid solution) at 5 °C at a rate of 50 sprayer applications per min using a 24 oz plastic bottle with sprayer (The Bottle Crew®, West Bloomfield, MI, USA), at a distance of 35-40 cm from the lettuce. The lettuce plants were turned at least twice during the treatment, and then placed in plastic containers for 5 min to drain the excess solution. Control lettuce plants received no treatment besides the initial washing and draining at 20 °C.

After draining the excess solution, the lettuce plants from all treatments and the control plants were packed in 49 L polyethylene bags, 20 microns thick and impervious to moisture (Great Value, Wal-Mart®, Bentonville, AR, USA). One lettuce plant was placed in each bag, and all packaged lettuce plants were stored at 5 ± 1 °C for 14 days.

Sample preparation. Three lettuce plants were washed for 2 min with drinking water (22-25 °C), and dried with absorbent paper towels prior to each sensory evaluation session. The samples were prepared for tasting and cut with a knife (excluding the colorless parts of the leaves and the central stem) into pieces of approximately 5 x 10 cm. The cut lettuces were packaged in transparent zip-bag bags of 16 x 9 cm impervious to moisture, 10 to 15 g of leaf per bag.

The appearance of the lettuce was evaluated using cut lettuce as well as whole leaves of lettuce. Additional samples for sensory evaluation of appearance were prepared with 2 whole leaves randomly selected; these were displayed on a flat dish covered with a transparent polyethylene film (Glad® Cling Wrap, The Glad Products Co., Oakland, CA, USA). All prepared samples were labeled with a 3-digit random number assigned to the respective treatment, and stored at 5 ± 1 °C for 12-18 h until the sensory evaluation session.

Sensory evaluation. The sensory evaluation sessions were conducted on days 1, 7 and 14 of storage, using a modification of the method reported by Acosta *et al.* (2006). The sensory evaluation was carried out with 100 untrained consumer panelists (n= 32 on day 1, 35 on day 7, and 33 on day 14); they were students, professors and staff persons of the Department of Food Science and Human Nutrition

La apariencia de la lechuga fue evaluada usando la lechuga troceada así como hojas enteras de lechuga. Las muestras adicionales para la evaluación sensorial de la apariencia fueron preparadas con 2 hojas enteras seleccionadas aleatoriamente, estas fueron exhibidas en un plato plano cubiertas con película transparente de polietileno (Glad® ClingWrap, The Glad Products Co., Oakland, CA, USA). Todas las muestras preparadas fueron etiquetadas con números aleatorios de 3 dígitos asignados para el tratamiento respectivo, y almacenadas a 5 ± 1 °C por 12 a 18 h hasta la sesión de evaluación sensorial.

Evaluación sensorial. Las sesiones de evaluación sensorial fueron conducidas en los días 1, 7 y 14 de almacenamiento, se uso una modificación del método publicado por Acosta *et al.* (2006). La evaluación sensorial se realizó con 100 panelistas consumidores no entrenados ($n=32$ en el día 1, 35 en el día 7, y 33 en el día 14) que eran estudiantes, profesores y staff del Departamento de Ciencia de los Alimentos y Nutrición Humana de la Colorado State University. La muestra de panelistas se determinó de acuerdo con Zhao *et al.* (2007). El día de la prueba sensorial los panelistas fueron acomodados en cabinas individuales con luz fluorescente.

Asimismo, se les proporcionó una hoja de consentimiento aprobada por el Colorado State University Human Research Committee, y hojas de respuestas para la evaluación sensorial de las muestras de lechuga. Después de firmar la hoja de consentimiento, se les dio a los panelistas una charola que contenía 4 bolsas etiquetadas con muestras troceadas para degustar, galletas sin sal y agua potable para enjuagar el paladar entre muestras de acuerdo a las instrucciones incluidas en la hoja de evaluación (Acosta *et al.*, 2006). El orden para degustar las muestras se cambió para minimizar sesgo atribuible al orden de degustación en las calificaciones de las muestras. Los atributos sensoriales se calificaron con valores de 0 a 15 en una escala de 15 cm, donde 0= "inaceptable", 7.5= ni aceptable ni inaceptable, y 15= "aceptable".

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un ANOVA, teniéndose un diseño experimental 4 x 3 en bloques (4 tratamientos x 3 tiempos de almacenamiento cuando el panel sensorial fue conducido). El análisis estadístico se realizó con el procedimiento de sistema mixto del software SAS versión 8 (SAS Institute Inc. 2005). Diferencias entre medias se calcularon con la Prueba de Diferencia Mínima ($p < 0.05$).

of Colorado State University. The panelists sample was determined according to Zhao *et al.* (2007). The day of the sensory test the panelists were seated in individual booths under fluorescent lighting.

The panelists were also given an informed consent form approved by the Colorado State University Human Research Committee, and an answer sheet for the sensory evaluation of the lettuce samples. After signing the consent form, the panelists were given a tray containing 4 labeled bags with cut samples, unsalted crackers and drinking water to rinse the palate after tasting each sample, according to the instructions included in the evaluation sheet (Acosta *et al.*, 2006). The tasting order of the samples was changed in order to minimize bias attributable to the order of tasting. The sensory attributes were scored with values from 0 to 15, where 0= "not acceptable", 7.5= not acceptable nor unacceptable, and 15= "acceptable".

Statistical analysis

The data were analyzed by ANOVA, with a 4 x 3 experimental design in blocks (4 treatments x 3 storage times when the sensory panel was conducted). The statistical analysis was performed with the mixed system procedure of the SAS software, version 8 (SAS Institute Inc. 2005). The differences between means were calculated using the Minimum Difference Test ($p < 0.05$).

Results and discussion

The treatments affected the appearance ($p < 0.0001$) and overall acceptability of leaf lettuce ($p < 0.02$), but had no effect on its taste ($p > 0.05$). For its part, storage affected only the appearance of the lettuce ($p < 0.002$). Furthermore, there was a significant interaction between the application of treatments and cold storage with respect to the appearance ($p < 0.0001$) and the overall acceptability of the processed plant ($p < 0.02$) (Table 1).

A high correlation was obtained between the overall acceptability (y-axis) and taste (x-axis) of leaf lettuce, with a correlation coefficient $R^2 = 0.85$ ($y = 0.9599x + 0.6938$), whereas overall acceptability (y) and appearance (x_o) were poorly correlated ($R^2 = 0.39$, $y = 0.3155x_o + 6.9726$). Color and appearance are important quality attributes for consumers when selecting fruits and vegetables. The research results

Resultados y discusión

La aplicación de tratamientos afectó la apariencia ($p < 0.0001$) y aceptabilidad general de la lechuga de hoja ($p < 0.02$), pero no tuvo efecto sobre el sabor de este vegetal ($p > 0.05$). Por otro lado, el almacenamiento afectó solamente a la apariencia de la lechuga ($p < 0.002$). Además, se tuvo interacción significativa entre aplicación de tratamientos y almacenamiento en frío en la apariencia ($p < 0.0001$), y aceptabilidad general de este vegetal procesado ($p < 0.02$) (Cuadro 1).

Por otra parte, se obtuvo una alta correlación entre aceptabilidad general (eje de la y) y sabor (eje de la x) de la lechuga de hoja, con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.85$ ($y = 0.9599x + 0.6938$); mientras que la aceptabilidad general (y) y la apariencia (x_0) estuvieron pobremente correlacionados ($R^2 = 0.39$, $y = 0.3155x_0 + 6.9726$). El color y la apariencia son importantes atributos de calidad para los consumidores cuando seleccionan frutos y vegetales frescos. Los resultados obtenidos en la investigación indican que los panelistas principalmente basaron sus calificaciones para aceptabilidad general de este vegetal procesado en el sabor en vez de la apariencia de la lechuga de hoja troceada.

Esto concuerda con Cuppett *et al.* (1999) y Fouladkhah *et al.* (2011), quienes reportan que la aceptabilidad general de la lechuga de hoja está más asociada con su sabor que con la apariencia del producto. Asimismo, el sabor y la aceptabilidad general de la lechuga se mantuvieron durante los 14 días de almacenamiento en frío. Estos resultados difieren con Delaquis *et al.* (2000), quienes reportan que la intensidad del sabor de la lechuga fresca disminuye durante el almacenamiento. El sabor de la lechuga fresca tiene como principales componentes al dulzor y el amargor, y es dependiente del contenido y combinación de carbohidratos (azúcares), ácidos orgánicos, lípidos y compuestos fenólicos (Mello *et al.*, 2003; Menezes *et al.*, 2005). Es posible que el almacenamiento a baja temperatura ($5\text{ }^\circ\text{C}$) haya ayudado a reducir el ritmo de hidrólisis de azúcares y otros componentes de la lechuga durante las etapas poscosecha, y esto pudo haber minimizado los cambios de sabor de este producto durante el periodo de almacenamiento. Por otra parte, se tuvo una baja correlación entre apariencia y aceptabilidad general de la lechuga de hoja troceada.

Este hallazgo debe ser considerado cuidadosamente, ya que la aceptabilidad comercial de la lechuga en general (entera o procesada) está basada en varios atributos

indicate that the panelists based their scores for overall acceptability of this processed plant mainly on taste rather than on the appearance of the cut leaf lettuce.

Cuadro 1. Medias de los resultados de apariencia y sabor de lechuga de hoja no tratada (control) y tratada almacenada a $5 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ por 1, 7 y 14 días.

Table 1. Means of the results of appearance and taste of untreated (control) and treated leaf lettuce stored at $5 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ for 1, 7 and 14 days.

| Tratamiento | Apariencia ¹ | | |
|--|-------------------------|--------------------|-------------|
| | día 1 | día 7 | día 14 |
| Inmersión en ác. ascórbico ² | 12.72 a, A | 7.63 d, C | 10.40 b, B |
| Inmersión en agua potable ³ | 12.87 a, A | 13.14 ab, A | 9.65 bc, B |
| Aspersión en ác. ascórbico ⁴ | 12.06 a, AB | 11.12 c, B | 12.75 a, A |
| Control ⁵ | 12.23 a, B | 13.99 a, A | 13.29 a, AB |
| | | Sabor ¹ | |
| Tratamiento | día 1 | día 7 | día 14 |
| Inmersión en ác. ascórbico ² | 9.42 a, A | 8.95 a, A | 10.16 a, A |
| Inmersión en agua potable ³ | 10.91 a, A | 10.56 a, A | 10.43 a, A |
| Aspersión en act. ascórbico ⁴ | 12.00 a, A | 10.62 a, A | 10.63 a, A |
| Control ⁵ | 9.88 a, A | 10.62 a, A | 10.29 a, A |

Medias de resultados (n= 32 en el día 1; 35 en el día 7, y 33 en el día 14 de almacenamiento). ¹Mediciones basadas en una escala de 15 cm, con 0= inaceptable, 7.5= ni aceptable ni inaceptable, y 15= aceptable. ²Sumergida en una solución de ácido ascórbico al 1%. ³Sumergida en agua potable. ⁴Tratada por aspersión con una solución de ácido ascórbico al 1%, o ⁵control (no tratada). Diferencias entre medias obtenidas mediante la prueba de diferencia mínima Significativa ($p < 0.05$). Valores en una columna no seguidos del mismo carácter en minúscula son estadísticamente diferentes, y valores en un renglón no seguidos del mismo carácter en mayúscula son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

This agrees with Cuppett *et al.* (1999) and Fouladkhah *et al.* (2011), who reported that the general acceptability of leaf lettuce is more associated with taste than with appearance. Taste and overall acceptability of lettuce were maintained during the 14 days of cold storage. These results differ with those of Delaquis *et al.* (2000), who reported that the intensity of the taste of the lettuce decreases during storage. The taste of fresh lettuce has as main components sweetness and bitterness, and depends on the content and the combination of carbohydrates (sugars), organic acids, lipids and phenolic compounds (Mello *et al.*, 2003; Menezes *et al.* 2005). It is possible that storage at low temperature ($5\text{ }^\circ\text{C}$) helped to reduce the rhythm of hydrolysis of sugars and

sensoriales, teniendo gran importancia la apariencia como indicador de calidad (Menezes *et al.*, 2005; USDA, 2006).

Las calificaciones de aceptabilidad general y sabor de la lechuga de hoja fresca troceada para todos los tratamientos estuvieron en el lado superior de la escala durante el almacenamiento, con valores de 8.85 a 12.09 para aceptabilidad general (Figura 1), y de 8.95 a 12.01 para sabor (Cuadro 1). En el día 1 de almacenamiento no hubo diferencia en la apariencia de las muestras ($p > 0.05$), teniendo todos los tratamientos valores de apariencia considerados como "aceptables" (calificaciones de 11.98 a 12.87 en la escala usada).

Sin embargo, hubo diferencia entre los tratamientos en lo referente a aceptabilidad general ($p < 0.05$), teniendo más altos valores de aceptabilidad general la lechuga hidrogenfriada con ácido ascórbico por aspersión ($p < 0.05$) que las muestras tratadas con ácido ascórbico por inmersión o con agua por aspersión. Además, únicamente las lechugas tratadas con ácido ascórbico por aspersión y las no tratadas (control) mantuvieron su apariencia y aceptabilidad general, estando las muestras control aceptables después de 14 días de almacenamiento a 5 °C.

Éstos resultados difieren con los presentados por Wagstaff *et al.* (2010), quienes reportan una vida de anaquel de 9 días en lechuga almacenada en refrigeración. Las muestras control en el experimento fueron preparadas mediante un procesamiento mínimo (lavado, troceado y empaquetado únicamente), lo que contribuyó a que su apariencia fuera afectada en menor grado que en las muestras tratadas. Saltveit (2004) explica que la lechuga debe ser manipulada al mínimo debido a que es un producto vegetal muy frágil.

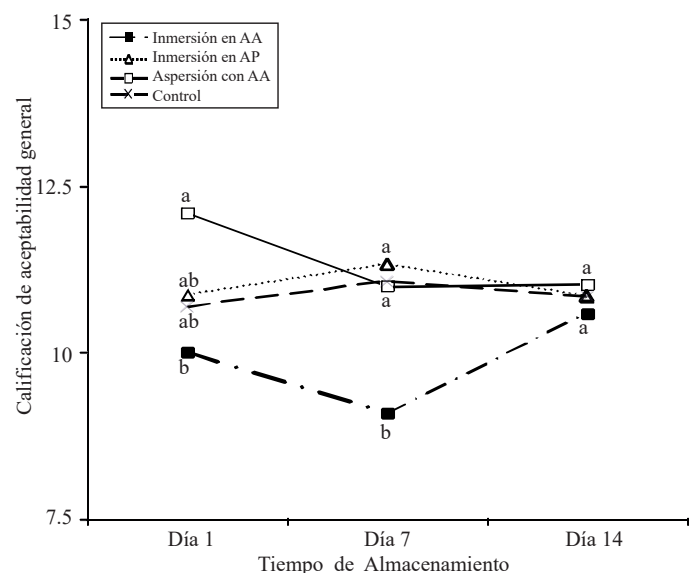
En el presente estudio la manipulación del producto durante la aplicación de tratamientos y preparación de muestras afectaron sensorialmente a la lechuga, resultando en las calificaciones obtenidas en las pruebas. Éstos resultados están relacionados con la deterioración de la calidad asociada con el daño por procesamiento, donde la apariencia de la lechuga es afectada por el oscurecimiento y la deshidratación (Maistro, 2001; Mello *et al.*, 2003).

La lechuga hidrogenfriada con agua conservó su aceptabilidad general y sabor pero no su apariencia, mientras que la lechuga hidrogenfriada por aspersión con ácido ascórbico mantuvo sus calificaciones en la prueba sensorial durante el almacenamiento de 14 días (apariencia, sabor y aceptabilidad

other components of lettuce during postharvest stages, and this may have minimized the changes in taste of this product during the storage period. On the other hand, there was a low correlation between appearance and overall acceptability of cut leaf lettuce.

This finding should be considered carefully, as the commercial acceptability of lettuce in general (whole or processed) is based on several sensory attributes, and appearance has great importance as a quality indicator (Menezes *et al.*, 2005, USDA, 2006).

The scores for overall acceptability and taste of fresh cut leaf lettuce for all treatments were on the upper side of the scale during storage, with values of 8.85 to 9.12 for overall acceptability (Figure 1), and from 8.95 to 12.01 for taste (Table 1). On day 1 of storage there was no difference in the appearance of the samples ($p > 0.05$), with all treatments obtaining appearance values considered "acceptable" (11.98 to 12.87 ratings on the scale used).



¹Medias de resultados (n= 32 en el día 1; 35 en el día 7, y 33 en el día 14 de almacenamiento). Mediciones basadas en una escala de 15 cm, con 0= inaceptable, 7.5= ni aceptable ni inaceptable, y 15 = aceptable. ²Inmersión en AA (sumergida en una solución de ácido ascórbico al 1%). ³Inmersión en AP (sumergida en agua potable). ⁴Aspersión en AA (tratada por aspersión con una solución de ácido ascórbico al 1%). ⁵Control (no tratada). Diferencias entre medias obtenidas mediante la prueba de diferencia mínima significativa ($p < 0.05$). Valores en mismo día no seguidos del mismo carácter en minúscula son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Figura 1. Medias de los resultados¹ de aceptabilidad general de lechuga de hoja tratada^{2,3,4} y no tratada (control)⁵ almacenada a 5 ± 1 °C por 1, 7 y 14 días.

Figure 1. Means of the overall acceptability results¹ of treated^{2,3,4} and untreated (control)⁵ leaf lettuce stored at 5 ± 1 °C for 1, 7 and 14 days.

general considerados como “aceptables”). Además, el sabor y aceptabilidad general de la lechuga tratada por inmersión por ácido ascórbico fueron mantenidos durante el almacenamiento, pero la apariencia de las lechugas sometidas a este tratamiento disminuyó en los días 7 y 14 comparada con los valores del día 1 de almacenamiento.

Las diferencias en los valores de apariencia entre las lechugas hidroenfriadas por inmersión o por aspersión pueden ser atribuidas a diversos factores como el método de hidroenfriamiento, concentración de ácido ascórbico de la solución de enfriamiento y variedad de lechuga. Esparza *et al.* (2006) encontraron diferencias en los valores de color instrumental de la lechuga de hoja hidroenfriada con una solución de ácido ascórbico al 1% por inmersión o aspersión, reportando que la lechuga enfriada por aspersión mantuvo sus valores de medición instrumental de color (valores L^* (intensidad de color), a^* (escala rojo-verde), y b^* (escala amarillo azul)) por 21 días de almacenamiento en frío, pero las tratadas por inmersión tuvieron un aumento en sus valores de a^* (considerado como un indicador del desarrollo de oscurecimiento) después de 14 días de almacenamiento a 5°C.

Por otro lado, Pirovani *et al.* (1997) reportaron que la inmersión de lechuga Iceberg en una solución de 0.3% ácido ascórbico + 0.3% ácido cítrico no causó cambios en los atributos visuales del producto después de 8 días. Además, Bolin y Huxsoll (1991) explican que la inmersión de lechuga Iceberg en una solución de ácido ascórbico al 0.5% aumentó 10% la vida de anaquel de esta variedad de lechuga, pero Roura *et al.* (2003) indican que la calidad visual de lechuga Romaine tratada por inmersión en una solución de ácido ascórbico al 0.5% no mostró mejoría. Las diferencias encontradas entre los resultados de estos estudios y los reportados en el presente experimento pueden ser atribuidos principalmente al tipo de lechuga. La lechuga de hoja tiene mayor contenido fenólico (Liu *et al.*, 2007); ritmo respiratorio, y relación volumen-superficie que otras variedades (Saltveit, 2004), lo cual explica porque la lechuga de hoja es más sensitiva y perecedera en comparación a lechugas de variedades Crisphead o Romaine.

Los resultados del presente experimento deben ser considerados cuidadosamente debido a que fueron obtenidos en condiciones controladas de laboratorio, y es requerida evaluación adicional de la aplicación del ácido ascórbico mediante hidroenfriamiento para garantizar su utilidad para la conservación de la calidad sensorial de productos vegetales procesados, tales como la lechuga de hoja fresca troceada.

However, there were differences between treatments in terms of overall acceptability ($p < 0.05$), with higher overall acceptability values for lettuce hydrocooled with ascorbic acid by spraying ($p < 0.05$) than for the samples treated with ascorbic acid by immersion or with water by spraying. Furthermore, only the lettuces treated with ascorbic acid by spraying and the untreated ones (control) maintained their appearance and overall acceptability, with the control samples remaining acceptable after 14 days of storage at 5°C.

These results differ from those presented by Wagstaff *et al.* (2010), who reported a shelf life of 9 days for lettuce stored under refrigeration. The control samples used in the experiment were prepared using minimal processing (just washing, cutting and packaging), which contributed to its appearance being less affected than that of the treated samples. Saltveit (2004) explains that lettuce should be manipulated minimally, as it is a very fragile plant product.

In the present study, the manipulation of the product during the application of treatments and the preparation of samples affected the sensory quality of the lettuce, which was reflected on the scores obtained in the tests. These results are related to the quality deterioration associated with damage by processing, in which the appearance of the lettuce is affected by browning and dehydration (Maistro, 2001; Mello *et al.*, 2003).

Lettuce hydrocooled with water retained its overall acceptability and taste but not its appearance, while lettuce hydrocooled with ascorbic acid by spraying maintained its scores in the sensory test after 14 days of storage (appearance, taste and overall acceptability all considered "acceptable"). Furthermore, lettuce treated with ascorbic acid by immersion maintained its taste and overall acceptability during storage, but the appearance of the lettuces treated in this way decreased on days 7 and 14 compared to the values on day 1 of storage.

The differences in the appearance values between the lettuces hydrocooled by immersion and by spraying can be attributed to various factors such as the hydrocooling method, the concentration of ascorbic acid in the cooling solution and the lettuce variety. Esparza *et al.* (2006) found no differences in the instrumental color values of leaf lettuce hydrocooled with a solution of 1% ascorbic acid by immersion or spraying, reporting that the lettuce cooled by spraying maintained its instrumental color values (L^* (intensity of color), a^* (red-green scale), and b^* (yellow-

Conclusiones

La aceptabilidad general de la lechuga de hoja verde procesada fresca troceada estuvo altamente correlacionada con el sabor pero no con su apariencia. Asimismo, la lechuga de hoja verde hidrogenfriada con ácido ascórbico, tanto por inmersión como por aspersión, mantuvo su aceptabilidad general y sabor durante los 14 días de almacenamiento a 5 °C. Además, la aceptabilidad general y sabor de todos los tratamientos fueron mantenidos durante el estudio. Sin embargo, la lechuga tratada con ácido ascórbico por aspersión y la no tratada fueron las únicas muestras que mantuvieron sus calificaciones de apariencia durante el periodo de almacenamiento. Es requerida mayor evaluación de la aplicación del ácido ascórbico mediante hidrogenfriamiento para garantizar su utilidad para la conservación de la calidad sensorial de la lechuga de hoja y otros productos vegetales procesados.

Agradecimientos

El autor Esparza-Rivera agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo para la realización de sus estudios doctorales.

Literatura citada

- Acosta, O.; Viquez, F.; Cubero, E. and Morales, I. 2006. Ingredient levels optimization and nutritional evaluation of a low-calorie blackberry (*Rubus irasuensis* Liebm.) jelly. *J. Food Sci.* 71:390-394.
- Bolin, H. R. and Huxsoll, C. C. 1991. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce. *J. Food Sci.* 56:60-68.
- Burnham, J. A.; Kendall, P. A. and Sofos, J. N. 2001. Ascorbic acid enhances destruction of *Escherichia coli* O157:H7 during home type drying of apple slices. *J. Food Protec.* 64:1244-1248.
- Cappozzi, V.; Fiocco, D.; Amodio, M. L.; Gallone, A. and Spano, G. 2009. Bacterial stressors in minimally processed food. *Int J. Mol. Sci.* 10:3076-3105.
- Castañer, M.; Gil, M. I.; Artes, F. and Tomas-Barberan, F. A. 1996. Inhibition of browning of harvested head lettuce. *J. Food Sci.* 61:314-316.
- Cook, R. L. 2011. Fundamental forces affecting fresh berry and lettuce/leafy green subsectors. *Choices, Agric. Applied Econ. Association* 26:1-5.
- Cuppert, S. L.; McCluskey, M.; Paparozzi, E. T. and Parkhurst, D. A. 1999. Nitrogen and sulfur effects on leaf lettuce. *J. Food Quality* 22:363-373.

blue scale)) during 21 days of cold storage, but the lettuces treated by immersion showed an increase in their a^* values (considered as an indicator of the development of browning) after 14 days of storage at 5 °C.

Pirovani *et al.* (1997) reported that immersing Iceberg lettuces in a solution of 0.3% ascorbic acid + 0.3% citric acid did not cause changes in the visual attributes of the product after 8 days. Furthermore, Bolin and Huxsoll (1991) explain that immersing Iceberg lettuce in a solution of 0.5% ascorbic acid increased by 10% the shelf life of this variety of lettuce, but Roura *et al.* (2003) indicate that the visual quality of Romaine lettuce treated by immersion in a solution of 0.5% ascorbic acid showed no improvement. The differences between the results of these studies and those reported in the present experiment can be attributed mainly to the type of lettuce. Leaf lettuce has higher phenolic content (Liu *et al.*, 2007), respiratory rate, and volume-surface ratio than other varieties (Saltveit, 2004), which explains why leaf lettuce is more sensitive and perishable compared to the crisphead or Romaine varieties.

The results of this experiment should be considered carefully because they were obtained under controlled laboratory conditions, and further evaluation is required of the application of ascorbic acid by hydrocooling to ensure its usefulness for maintaining the sensory quality of processed plant products such as fresh cut leaf lettuce.

Conclusions

The overall acceptability of processed fresh cut leaf lettuce was highly correlated with its taste but not with its appearance. Green leaf lettuce hydrocooled with ascorbic acid, either by immersion or by spraying, maintained its overall acceptability and taste during the 14 days of storage at 5 °C. In addition, the lettuces maintained their overall acceptability and taste during the study with all treatments. However, the lettuce treated with ascorbic acid by spraying and the untreated samples were the only ones that maintained their appearance scores during the storage period. Further evaluation of the application of ascorbic acid by hydrocooling is required to ensure its usefulness for maintaining the sensory quality of leaf lettuce and other processed plant products.

End of the English version



- Delaquis, P. J.; Stewart, S.; Cliff, M.; Toivonen, P. M. and Moyls, A. L. 2000. Sensorial quality of ready-to-eat lettuce washed in warm, chlorinated water. *J. Food Quality* 23:553-563.
- Dong, X.; Wrolstad, R. E. and Sugar, D. 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears. *J. Food Sci.* 65:181-186.
- Esparza, R. J. R.; Stone, M. B.; Stushnoff, C.; Pilon-Smits, E. and Kendall, P. A. 2006. Effects of ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 °C. *J. Food Sci.* 71:270-276.
- Ferreira, M. D.; Brecht, J. K.; Sargeant, S. A. and Aracena, J. J. 1994. Physiological responses of strawberry to film wrapping and precooling methods. *Proc Fla St Hort. Soc.* 107:265-269.
- Fouladkhan, A.; Bunning, M.; Stone, M.; Stushnoff, C.; Stoniker, F. and Kendall, P. 2011. Consumer hedonic evaluation of eight fresh specialty leafy greens and their relationship to instrumental quality attributes and indicators of secondary metabolites. *J. Sens. Studies* 26:175-183.
- Gonzalez, M. E. and Barrett, D. M. 2010. Thermal, high pressure, and electric field processing effects on plant cell membrane integrity and relevance to fruit and vegetable quality. *J Food Sci* 79:121-127.
- Ibrahim, M. H.; Jaafar, H. Z. E.; Rahmat, A. and Rahman, Z. A. 2012. Malaysian involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila blume* (Kacip Fatimah). *Int J. Mol. Sci.* 13:393-408.
- Isik, E. and Celik, E. 2006. The effect of precooling of lettuces and green beans on the ratio of weight loss and net weight after storage. *Pakistan J. Biol. Sci.* 9:2606-2611.
- Kang, H. and Saltveit, M. E. 2002. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding. *J. Agric Food Chem.* 50:7536-7541.
- Liu, X.; Ardo, S.; Bunning, M.; Parry, J.; Zhou, K.; Stushnoff, C.; Stoniker, F.; Yu, L. and Kendall, P. 2007. Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. *Food Sci. Technol.* 40:552-557.
- Ma, Y.; Wang, Q.; Hong, G. and Cantwell, M. 2010. Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphate. *Int J. Food Sci. Tech.* 45:1486-1494.
- Maistro, L. C. 2001. Alface minimamente processada: Uma revisão. *Revista de Nutrição* 14(3):219-224.
- Mello, J. C.; Dietrich, R.; Meinert, M. E.; Teixeira, E. e Amante, E. R. 2003. Efeito do cultivo orgânico e convencional sobre a vida-de-prateleira de alface americana (*Lactuca sativa* L.) minimamente procesada. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 23:418-426.
- Menezes, E. M. S.; Fernandes, E. C. e Sabaa-Srur, A. U. O. 2005. Folhas de alface lisa (*Lactuca sativa*) minimamente processadas armazenadas em atmosfera modificada: análises físicas, químicas e físico-químicas. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 25:60-62.
- Pirovani, M. E.; Piagentini, A. M.; Guemes, D. R. and Di Pentima, J. H. 1997. Quality of minimally processed lettuce as influenced by packaging and chemical treatment. *J. Food Quality* 22:475-484.
- Plotto, A.; Narciso, J. A.; Rattanapanoneb, N. and Baldwin, E. A. 2010. Surface treatments and coatings to maintain fresh-cut mango quality in storage. *J. Sci. Food Agric.* 90:2333-2341.
- Roura, S. I.; Moreira, M. R.; Ponce, A. and Del Valle, C. E. 2003. Dip treatments for fresh Romaine lettuce. *Ital J. Food Sci.* 15:405-415.
- Saltveit, M. E. 2004. Lettuce. *Agriculture handbook No. 66.* United States Department of Agriculture. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/081lettuce.pdf> (consultado octubre, 2004).
- Saltveit, M. E. and Choi, Y. J. 2007. Aromatic- and di-carboxylates inhibit wound-induced phenolic accumulation in excised lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaf tissue. *Postharvest Biol. Technol.* 46:222-229.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. *Food Technol.* 47:75-84.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2005. SAS Institute Inc. 2005. SAS/STAT User's Guide, version 8, Fourth Ed. Vol. 1 and 2. SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA.
- Thompson, J. F. 2004. Pre-cooling and storage facilities. *Agriculture handbook No. 66.* United States Department of Agriculture. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/011cooling.pdf>. (consultado mayo, 2004).
- United States Department of Agriculture (USDA). 2006. United States Standards for grades of lettuce. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. <http://www.ams.usda.gov/standards/Field%20Grown%20Leaf%20Lettuce.pdf> (consultado febrero, 2011).
- United States Department of Agriculture (USDA). 2011. U. S. Department of Agriculture, Economic Research Service (USDA/ERS). Vegetables and melons yearbook data. <http://www.ers.usda.gov/data-products/vegetables-and-pulses-data/yearbook-tables.aspx> (consultado mayo, 2011).
- Wagstaff, C.; Clarkson, G. J. J.; Zhang, F.; Rothwell, S. D.; Fry, S. C.; Taylor, G. and Dixon, M. S. 2010. Modification of cell wall properties in lettuce improves shelf life. *J. Exp. Bot.* 61:1239-1248.
- Zhan, L. J.; Fontana, E.; Tibaldi, G. and Nicola, S. 2009. Qualitative and physiological response of minimally processed garden cress (*Lepidium sativum* L.) to harvest handling and storage conditions. *J. Food Agric. Environm.* 7:43-50.
- Zhao, X.; Chamber, E.; Loughlin, T. M. and Carey, E. E. 2007. Consumer sensory analysis of organically and conventionally grown vegetables. *J. Food Sci.* 72:87-91.