

## Calidad de frutos de dos variedades de fresa mexicana y una introducida frigoconservados en alto CO<sub>2</sub>\*

### Fruit quality of two mexican strawberry varieties and one introduced frigoconservated in high CO<sub>2</sub>

Fernando García Espejel<sup>1</sup>, Crescenciano Saucedo Veloz<sup>1§</sup>, Daniela Saucedo Reyes<sup>1</sup> y Sergio Humberto Chávez Franco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 01(595)9520233. (fernado.garcia@colpos.mx; danielareyes\_4@hotmail.com; sergiocf@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: sauveloz@colpos.mx.

#### Resumen

Recientemente en México, el Colegio de Postgraduados ha generado variedades de fresa llamadas “Jacona” y “Zamorana”. Por su reciente aparición es necesario evaluar diversos factores entre ellos su comportamiento poscosecha, útil para fines de evaluación y conservación de calidad, respecto a las variedades comerciales actualmente más utilizadas. El objetivo fue evaluar los cambios fisiológicos relacionados con el proceso de senescencia de frutos de fresa almacenados en refrigeración y altas concentraciones de CO<sub>2</sub>. Para esto, se cosecharon frutos en estado de madurez comercial, se almacenaron en refrigeración por 8 días con y sin atmósfera controlada (15% de CO<sub>2</sub>), los tratamientos fueron 6, resultado de la combinación de factor variedad (Festival, Jacona y Zamorana) y concentración de CO<sub>2</sub> (0.03 y 15%) en la atmósfera. Después del periodo de refrigeración, se determinaron las variables: firmeza de la pulpa (N), pérdida de peso (%), color externo (luminosidad, índice de saturación o croma y ángulo de tono), vitamina C, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y concentración de etanol y acetaldehído. Se aplicó un diseño al azar con arreglo factorial y se utilizó una comparación de medias con pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para detectar diferencias significativas. Los resultados mostraron que después de

#### Abstract

Recently in México, the Colegio de Postgraduados has generated strawberry varieties called “Jacona” and “Zamorana”. Due to its recent appearance, it is necessary to evaluate several factors, such as its postharvest behavior, which is useful for evaluation and quality conservation purposes, in relation to commercial varieties currently in use. The objective was to evaluate the physiological changes related to the senescence process of strawberry fruits stored in refrigeration and high concentrations of CO<sub>2</sub>. In order to do this, fruits were harvested at commercial maturity, then stored for 8 days with and without controlled atmosphere (15% CO<sub>2</sub>), there were 6 treatments as a result of the combination of variety factor (Festival, Jacona and Zamorana) and CO<sub>2</sub> concentration (0.03 and 15%) in the atmosphere. After the cooling period, the variables determined were: pulp firmness (N), weight loss (%), external color (luminosity, saturation index or chroma and pitch angle), vitamin C, total soluble solids, pH, titratable acidity and ethanol and acetaldehyde concentration. A completely randomized design with factorial arrangement was applied and a mean comparison with Tukey's tests ( $\alpha=0.05$ ) was used to detect significant differences. The results showed that after exposing the fruits to an atmosphere with 0.03 or 15% CO<sub>2</sub> for 8 days at  $2 \pm 1$  °C, the three varieties showed similar behavior in terms of

\* Recibido: febrero de 2017  
Aceptado: abril de 2017

exponerse los frutos a una atmósfera con 0.03 ó 15% de CO<sub>2</sub> por 8 días a 2 ±1 °C, las tres variedades presentan similar comportamiento en cuanto a pérdida de peso, firmeza, luminosidad, ángulo de tono, índice de saturación y sólidos solubles totales. Una atmósfera con 15% de CO<sub>2</sub> mantuvo la concentración de vitamina C en las variedades mexicanas durante el almacenamiento pero disminuyó en ‘Festival’, y ocasionó un aumento en la concentración de etanol y acetaldehído en las tres variedades estudiadas.

**Palabras clave:** *Fragaria x annanasa* Duch., metabolitos anaerobios, sólidos solubles totales, vitamina C.

## Introducción

La producción de fresa en México se estima en 360 426 toneladas lo que representa 17.9% de la producción mundial, lo que lo ubica como segundo productor después de los Estados Unidos de América (FAOSTAT, 2012), comercialmente, el nivel de exportaciones alcanza las 76 890 toneladas con un valor de 142 053 millones de dólares (FAOSTAT, 2011), principalmente como producto fresco.

Actualmente la producción de fresa en México se basa en las variedades Festival, Sweet Charlie y Galaxia, entre otras, desarrolladas en las Universidades de California y Florida, USA, todas ellas con características específicas en cuanto a rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, época de producción y calidad de fruto. En México se han generado nuevas variedades, algunas de las cuales se encuentran en evaluación, tanto en condiciones protegidas como de campo con el objetivo de definir las características del desarrollo de planta y los requerimientos de tecnología de producción; siendo también necesario conocer los cambios fisiológicos y bioquímicos relacionados con su maduración en planta y senescencia en postcosecha, para con esto definir índices de cosecha, patrones de calidad y respuesta a tecnologías tendientes a prolongar su vida de anaquel.

Diversos factores, como el estado de madurez al momento del corte, la temperatura, humedad relativa, incidencia de pudriciones y daños físicos, favorecen la pérdida de la calidad comercial, nutricional y sensorial de los frutos de fresa de manera acelerada (Pineli *et al.*, 2011). El índice de cosecha más utilizado en fresa es cuando el fruto toma un color rosa ( $\frac{3}{4}$  de maduración) o rojo (maduro-firme).

weight loss, firmness, luminosity, tone angle, saturation index and total soluble solids. An atmosphere with 15% of CO<sub>2</sub> maintained the vitamin C concentration in Mexican varieties during storage but it decreased in ‘Festival’, and caused an increase in the concentration of ethanol and acetaldehyde in the three studied varieties.

**Keywords:** *Fragaria x annanasa* Duch., anaerobic metabolites, total soluble solids, vitamin C.

## Introduction

Strawberry production in México is estimated at 360 426 tonnes, which represents 17.9% of world production, placing it as the second largest producer after the United States of America (FAOSTAT, 2012), commercially, the exports level reaches 76 890 tonnes with a value of 142 053 million dollars (FAOSTAT, 2011), mainly as a fresh product.

Currently strawberry production in México is based on the varieties Festival, Sweet Charlie and Galaxia, among others, developed in the Universities of California and Florida, USA, all of them with specific characteristics in terms of yield, resistance to pests and diseases, production season and fruit quality. New varieties have been generated in México, some of which are under evaluation, both in protected and field conditions, with the objective of defining the characteristics of plant development and the requirements of production technology; it is also necessary to know the physiological and biochemical changes related to plant maturation and post-harvest senescence, in order to define crop indexes, quality patterns and response to technologies aiming to prolong shelf life.

Several factors, such as ripeness maturity, temperature, relative humidity, rot and physical damage incidence, favor the loss of commercial, nutritional and sensorial quality of strawberry fruits in an accelerated way (Pineli *et al.*, 2011). The most commonly used strawberry harvest index is when the fruit takes a pink ( $\frac{3}{4}$  ripening) or a red (ripe-firm) color. Mitcham and Mitchell (2002) mention that the best state for the strawberry harvest is when the fruits have reached at least  $\frac{3}{4}$  red color in order to achieve a longer shelf life.

Among the technologies used to extend shelf life of this product are refrigeration in normal atmosphere (air) or with high concentrations of CO<sub>2</sub>. Regarding to this, it has

Mitcham y Mitchell (2002) mencionan que el mejor estado para la cosecha de fresa es cuando los frutos han alcanzado al menos al menos  $\frac{3}{4}$  de color rojo para lograr una mayor vida de anaquel.

Entre las tecnologías utilizadas para prolongar la vida de anaquel de este producto se tiene, principalmente, a la refrigeración en atmósfera normal (aire) o con altas concentraciones de CO<sub>2</sub>. En este sentido, se ha reportado (Ayala-Zavala, 2004) que la conservación a 0 °C mantiene la calidad de los frutos de fresa por 7-9 días, siendo limitante el desarrollo de pudriciones por *Botrytis cinerea* y pérdida de la capacidad antioxidante (Peng *et al.*, 2011). El uso de atmosferas enriquecidas con CO<sub>2</sub> (10-15% de CO<sub>2</sub>) prolongó la vida de anaquel a 9-13 días (Pelayo *et al.*, 2003) y conserva la firmeza, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable (Pelayo-Zaldívar *et al.*, 2007). Por su parte, Holcroft y Kader (1999a) reportan que altas concentraciones de CO<sub>2</sub> afectan negativamente el color de los frutos, la concentración de antocianinas y la formación de metabolitos fermentativos que conducen un cambio en el sabor (Pelayo-Zaldívar *et al.*, 2007). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos concentraciones de CO<sub>2</sub> en la calidad y vida de anaquel del fruto de dos variedades mexicanas de fresa almacenadas bajo refrigeración.

## Materiales y métodos

Para el experimento, plantas de dos variedades de fresa mexicana denominados como Jacona y Zamorana obtenidas por el Programa de Mejoramiento Genético de Frutales del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, México, así como de la variedad Festival generada en la Universidad de Florida, USA, considerando este último como referencia, fueron producidas bajo condiciones de invernadero. Para la cosecha de los frutos se utilizó como criterio el estado  $\frac{3}{4}$  de color rojo (Norma: NMX-FF-062-SCFI-2002), estableciendo en total seis tratamientos con 40 frutos cada uno, resultado de la combinación de factor variedad (Festival, Jacona y Zamorana) y concentración de CO<sub>2</sub> (0.03 y 15%) en la atmósfera, todos almacenados por 8 días a  $2 \pm 1$  °C y 85-90% de humedad relativa.

Para establecer la atmósfera con 15% de CO<sub>2</sub> se utilizó el sistema mezclador de gases Mixing Board UC-Davis y tableros para mantener un flujo de 184 mL min<sup>-1</sup>. A presión constante; los gases de arrastre para la mezcla fueron aire

been reported (Ayala-Zavala, 2004) that the conservation at 0 °C maintains the quality of strawberry fruits for 7-9 days, being a limitation the decay development by *Botrytis cinerea* and loss of antioxidant capacity (Peng *et al.*, 2011). The use of CO<sub>2</sub> enriched atmospheres (10-15% CO<sub>2</sub>) prolonged shelf life to 9-13 days (Pelayo *et al.*, 2003) and preserved firmness, total soluble solids, pH and titratable acidity (Pelayo-Zaldívar *et al.*, 2007). In contrast, Holcroft and Kader (1999a) report that high concentrations of CO<sub>2</sub> negatively affect fruit color, anthocyanin concentration and the formation of fermentative metabolites leading to a change in taste (Pelayo-Zaldívar *et al.*, 2007). The objective of this paper was to evaluate the effect of two concentrations of CO<sub>2</sub> on the quality and shelf life of the fruit of two Mexican varieties of strawberry stored under refrigeration.

## Materials and methods

For the experiment, plants of two varieties of Mexican strawberry denominated as Jacona and Zamorana obtained by the Program of Genetic Improvement of Fruit of the Colegio de Postgraduados in Agricultural Sciences, Campus Montecillo, México, as well as the Festival variety generated in the University of Florida, USA, taking it as a reference, and were produced under greenhouse conditions. In order to harvest the fruits, the  $\frac{3}{4}$  red state (standard: NMX-FF-062-SCFI-2002) was used as criterion, establishing six treatments in total with 40 fruits each, resulting from the combination of variety factor (Festival, Jacona and Zamorana) and CO<sub>2</sub> concentration (0.03 and 15%) in the atmosphere, all stored for 8 days at  $2 \pm 1$  °C and 85-90% of relative humidity.

In order to establish the atmosphere with 15% of CO<sub>2</sub> the Mixing Board UC-Davis gas mixing system and panels were used to maintain a flow of 184 mL min<sup>-1</sup>. At constant pressure; the gases for the mixture were air (0.03% CO<sub>2</sub>) and CO<sub>2</sub> from a pressurized cylinder with 100% concentration. The gas entrainment system was complemented by placing the fruits in a total of 24 bottles (4/treatment), which were sealed and a continuous system was established. CO<sub>2</sub> measurements were carried out using a temperature and CO<sub>2</sub> recording equipment (TELAIRE brand, model 7001, manufactured in Goleta, California, USA) and data logger (HOBO brand, model U-12-012, manufactured in Bourne, Massachusetts, USA). The evaluated variables were: accumulated weight loss calculated based on the weight difference between the initial value and the corresponding value at the end of

(0.03 % de CO<sub>2</sub>) y CO<sub>2</sub> proveniente de cilindro presurizado concentración 100%. El sistema de arrastre de los gases se complementó colocando los frutos en un total de 24 frascos (4/tratamiento) los cuales se cerraron herméticamente y se estableció un sistema continuo. Las mediciones de CO<sub>2</sub> se llevaron a cabo empleando un equipo registrador de temperatura y CO<sub>2</sub> (marca TELAIRE, modelo 7001, fabricado en Goleta, California, USA) y registrador de datos (marca HOB0, modelo U-12-012, fabricado en Bourne, Massachusetts, USA). Las variables evaluadas fueron: pérdida de peso acumulado calculado con base a la diferencia de peso entre el valor inicial y el correspondiente al final del periodo de evaluación, expresando los datos como porcentaje (%), firmeza de la pulpa mediante un Texturómetro Wagner modelo FDV-30 con una base metálica marca Chatillón adaptado con un puntal cónico de 5 mm reportando los datos en Newtons (N); color externo (medido en la parte equatorial máxima del fruto) se determinó utilizando un colorímetro Hunter Lab (Reston, Virginia, USA, modelo D-25), obteniendo con los valores Lab-Hunter la luminosidad, el ángulo de tono o °h ( $180 + \tan^{-1} b/a$ ) e índice de saturación o croma ( $a^2 + b^2$ )<sup>1/2</sup> (Arias *et al.*, 2000), sólidos solubles totales (% SST).

Determinados mediante un refractómetro digital Atago modelo PR-100, con una escala de 0-32% de acuerdo al método de la AOAC (1990), acidez titulable (% ácido cítrico) y pH de la pulpa fueron medidos de acuerdo con las metodologías descritas por la AOAC (1990), concentración de ácido ascórbico (vitamina C) determinado de acuerdo al método 2,6-diclorofenol indofenol descrito por la AOAC (2000) y reportado en mg 100 g<sup>-1</sup>, producción de etanol y acetaldehído (mg 100 g<sup>-1</sup>) por el método propuesto por Davis y Chace (1969) utilizando un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo 5890 II el cual operó a temperatura de 180 °C en el detector de ionización de flama, temperatura del horno de 150 °C isotérmico y columna Paraplot Q (25 m/0.22 mm diámetro interno).

Para el análisis estadístico se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial y se utilizó una comparación de medias con pruebas de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para detectar diferencias significativas entre tratamientos. Las medidas de las variables firmeza, color y pérdidas de peso se realizaron en una muestra compuesta por 10 repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental un fruto; para el resto de las variables la muestra estuvo compuesta por cinco repeticiones y la muestra experimental dos frutos. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS<sup>®</sup> 9.0 (SAS, 2000).

the evaluation period, expressing the data as percentage (%), pulp firmness using a Wagner Texturometer model FDV -30 with a metal base Chatillon, adapted with a 5 mm conical strut, reporting the data in Newtons (N); external color (measured at the maximum equatorial part of the fruit) was determined using a Hunter Lab colorimeter (Reston, Virginia, USA, model D-25), obtaining with the Lab-Hunter values the luminosity, pitch angle or °h ( $180 + \tan^{-1} b/a$ ) and saturation index or chroma ( $a^2 + b^2$ )<sup>1/2</sup> (Arias *et al.*, 2000), total soluble solids (% SST).

Determined by a Atago digital refractometer model PR-100, with a scale of 0-32% according to the AOAC (1990) method, titratable acidity (% citric acid) and pH of the pulp were measured according to the methodologies described By AOAC (1990), ascorbic acid (vitamin C) determined according to the 2,6-dichlorophenol indophenol method described by AOAC (2000) and reported in mg 100 g<sup>-1</sup>, ethanol and acetaldehyde production (mg 100 g<sup>-1</sup>) by the method proposed by Davis and Chace (1969) using a Hewlett Packard gas chromatograph model 5890 II which operated at a 180 °C temperature in the flame ionization detector, furnace temperature of 150 °C isothermal and column Paraplot Q (25 m/0.22 mm internal diameter).

For the statistical analysis, a completely randomized design with factorial arrangement was applied and a means comparison with Tukey's tests ( $\alpha = 0.05$ ) was used in order to detect significant differences between treatments. The measures of firmness, color and weight loss were performed in a sample composed of 10 replicates per treatment, being the experimental unit one fruit; for the rest of the variables the sample consisted of five replicates and the experimental sample of two fruits. Data were analyzed using the SAS<sup>®</sup> 9.0 statistical package (SAS, 2000).

## Results and discussion

According to the results obtained (Table 1), after 8 days of storage at  $2 \pm 1$  °C, it was observed that both the variety factor and the CO<sub>2</sub> concentration did not show significant differences, which indicated that, in terms of weight loss, the strawberry fruits of the three cultivars showed similar behavior when exposed to an atmosphere with 0.03% or 15% of CO<sub>2</sub>. It should be noted that the weight loss after the established storage period comprised from 1.49 to 2.49%, which did not provoke wilting symptoms, since this

## Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 1), después de 8 días de almacenamiento a  $2 \pm 1$  °C se observó que tanto por el factor variedad como concentración de CO<sub>2</sub> no se detectaron diferencias significativas, lo que indicó que, en cuanto a pérdida de peso, los frutos de fresa de los tres cultivares presentaron similar comportamiento al exponerse a una atmósfera con 0.03% ó 15% de CO<sub>2</sub>. Es de señalar que la pérdida de peso tras el periodo de almacenamiento establecido comprendió de 1.49 a 2.49% lo que no provocó síntomas de marchitamiento, ya que este rango fue menor al nivel crítico de pérdida de agua para daños por marchitamiento de 6% reportado por Robinson *et al.* (1975), obtenido mediante la evaluación acumulativa diaria de estas pérdidas.

range was lower than the critical level of water loss for wilt damages of 6% reported by Robinson *et al.* (1975), obtained by the daily cumulative evaluation of these losses.

Regarding to the pulp firmness, no differences were observed due to the effect of the cultivar factors and CO<sub>2</sub> concentration (Table 1), the determined values were between 0.675 to 0.918 N. However, in relation to the initial firmness value, Jacona and Zamorana showed significantly firmness loss over 'Festival' during storage (Figure 1), suggesting differences in cell wall metabolism resulting from the genetic improvement of this variety (Perkins, 1995; Jiménez-Bermúdez, 2002). It should be noted that Mexican varieties showed greater firmness (Figure 1) at the beginning of storage (Day 1) than the 'Festival' variety which, according to Gooding (1976), is indicative of greater resistance to both mechanical and by pathogens damages.

**Cuadro 1. Análisis de varianza (*p*- value) en los efectos principales de interacción de la variedad y concentración de CO<sub>2</sub>, en las variables de respuesta estudiadas.**

**Table 1. Analysis of variance (*p*- value) in the main interaction effects of the variety and CO<sub>2</sub> concentration, in the response variables studied.**

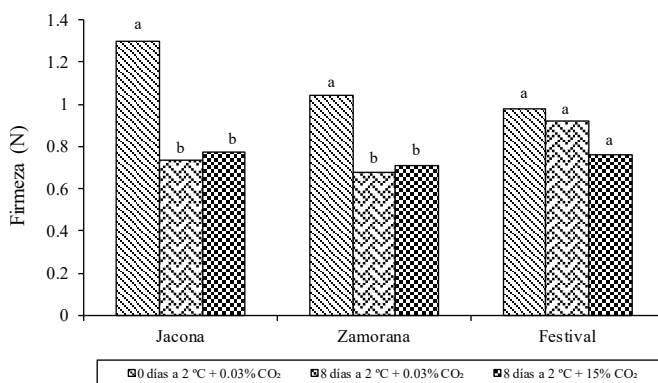
Factor	Pérdida de peso (%)	Luminosidad (L)	Ángulo de tono (°h)	Índice de saturación (Croma)	Firmeza (N)	SST (%)	pH	Ácido cítrico (%)	Ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Etanol (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Acetaldehído (mg 100 g <sup>-1</sup> )
Variedad											
Jacona	2.15 a	27.965 b	23.892 a	23.017 b	0.752 a	6.783 ab	3.78 b	0.88 a	43.772 ab	10.6 b	3.35 b
Zamorana	1.92 a	28.2 b	22.31 a	21.832 b	0.693 a	6.008 b	3.83 ab	0.81 ab	36.812 b	11.23 b	3.63 b
Festival	1.72 a	31.585 a	23.135 a	28.622 a	0.84 a	7.9 a	3.96 a	0.73 b	45.790 a	20.39 a	7.08 a
[CO <sub>2</sub> ]											
0.03%	1.86 a	29.76 a	22.463 a	25.022 a	0.775 a	6.967 a	3.92 a	0.81 a	39.354 b	3.64 b	1.65 b
15%	2 a	28.74 a	23.762 a	23.958 a	0.748 a	6.828 a	3.8 b	0.8 a	44.894 a	24.5 a	7.72 a
Variedad*[CO <sub>2</sub> ]											
Jacona*0.03%	1.49 a	28.365 ab	23.643 a	22.685 b	0.733 a	6.867 a	3.96 a	0.87 a	38.607 b	4.1 c	1.56 c
Jacona*15%	1.94 a	27.565 b	24.14 a	23.348 b	0.771 a	6.7 a	3.6 b	0.89 a	48.937 a	17.1 b	5.14 b
Zamorana*0.03%	2.26 a	27.965 b	19.694 a	22.049 b	0.675 a	5.967 a	3.83 ab	0.84 a	33.67 b	0 c	1.3 c
Zamorana*15%	1.58 a	28.435 ab	24.926 a	21.615 b	0.711 a	6.05 a	3.83 ab	0.79 a	39.953ab	22.46 b	5.97 b
Festival*0.03%	1.81 a	32.95 a	24.05 a	30.332 a	0.918 a	8.067 a	3.96 a	0.74 a	39.503 ab	6.84 c	2.09 c
Festival*15%	2.49 a	30.22 ab	22.22 a	26.911ab	0.761 a	7.733 a	3.96 a	0.72 a	41.75 ab	33.95 a	12.06 a

Valores en la misma columna con letras iguales no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.01$ ).

En la firmeza de la pulpa, no se observaron diferencias por efecto de los factores cultivar y concentración de CO<sub>2</sub> (Cuadro 1), los valores determinados estuvieron entre 0.675

As for the fruit color, after eight days of refrigeration at  $2 \pm 1$  °C, there were significant differences in the luminosity value due to the variety factor, being higher in 'Festival' (31.58),

a 0.918 N. Sin embargo, con relación al valor de firmeza inicial, las variedades Jacona y Zamorana presentaron significativamente mayor pérdida de firmeza respecto a 'Festival' durante el almacenamiento (Figura 1), lo que sugirió diferencias en el metabolismo de la pared celular producto del mejoramiento genético de esta variedad (Perkins, 1995; Jiménez-Bermúdez, 2002). Es de señalar que las variedades mexicanas presentaron al inicio del almacenamiento (día 0) una mayor firmeza (Figura 1) con respecto a la variedad 'Festival' lo que, de acuerdo con Gooding (1976), es indicativo de mayor resistencia a daños mecánicos y por patógenos.

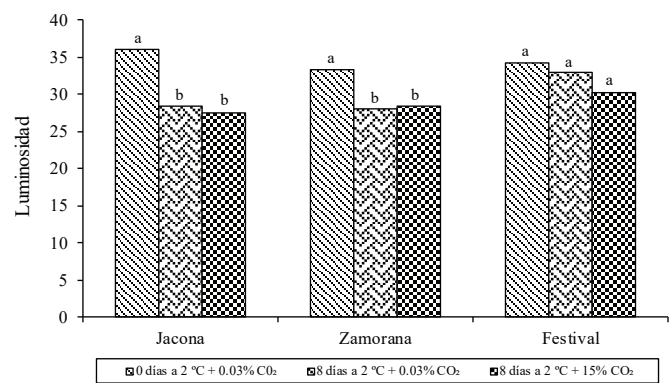


**Figura 1. Resultados del análisis de varianza (*p*-value) para la variable firmeza, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

**Figure 1. Results of the analysis of variance (*p*-value) for firmness variable, in fruits evaluated at the time of harvest and after the treatments. Means with the same letter are statistically the same (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

El color del fruto después de ocho días de refrigeración a  $2 \pm 1$  °C, se presentaron diferencias significativas en el valor de la luminosidad debidas al factor variedad, siendo mayor en 'Festival' (31.58), no presentándose diferencias por efecto de la concentración de CO<sub>2</sub> dentro de cada variedad (Cuadro 1). En función del tiempo de almacenamiento, respecto al valor inicial, la luminosidad disminuyó significativamente sólo en las variedades mexicanas, independiente de la concentración de CO<sub>2</sub>, la cual evidenció un ligero oscurecimiento de los frutos (Figura 2). Una respuesta similar ha sido reportada por Holcroft y Kader (1999a), quienes encontraron que la luminosidad de frutos de la variedad Selva almacenados por 5 y 10 días a 5 °C disminuyó al avanzar el tiempo de almacenamiento y no fueron afectados por la concentración de CO<sub>2</sub> (aire y 20 kPa) en la atmósfera circundante.

not showing differences by effect of the CO<sub>2</sub> concentration within each variety (Table 1). Regarding to storage time in relation to the initial value, the luminosity decreased significantly only in the Mexican varieties, independently of the CO<sub>2</sub> concentration, which showed a slight darkening of the fruits (Figure 2). A similar response has been reported by Holcroft and Kader (1999a), who found that the luminosity of fruits of the Selva variety stored for 5 and 10 days at 5 °C decreased as the storage time advanced and were not affected by the concentration of CO<sub>2</sub> (air and 20 kPa) in the surrounding atmosphere.

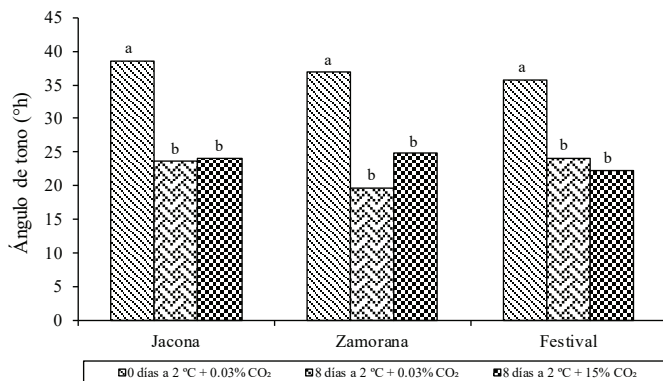


**Figura 2. Resultados del análisis de varianza (*p*-value) para la variable color (luminosidad), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

**Figure 2. Results of the analysis of variance (*p*-value) for the color variable (luminosity), in fruits evaluated at the time of harvest and after treatments. Means with the same letter are statistically equal (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

Regarding to the pitch angle color attribute (°h), it was observed that at the end of storage there were no significant differences due to the effect of the variety as well as the concentration of CO<sub>2</sub>; in addition, no significant differences were found in all 6 treatments (Table 1) resulting from combinations of the variety factors and CO<sub>2</sub> concentration. Regarding the time of harvest, in the fruits of the three studied varieties, the value of the pitch angle (°h) decreased significantly after the storage period established (Figure 3), which was indicative of changes in the red tonality of The fruits, mainly due to the anthocyanins oxidation effect due to the senescence advance (Bodelon *et al.*, 2010). As for the saturation index (Chroma), significant differences were also observed due to the variety factor, being higher in 'Festival' (Table 1).

Con respecto al atributo de color ángulo de tono (°h), se observó que al final del almacenamiento no se presentaron diferencias significativas por efecto de la variedad así como por la concentración de CO<sub>2</sub>; además, no se encontraron diferencias significativas en los 6 tratamientos (Cuadro 1) resultantes de las combinaciones de los factores variedad y concentración de CO<sub>2</sub>. Con relación al momento de cosecha, en los frutos de las tres variedades estudiadas, el valor del ángulo de tono (°h) disminuyó significativamente tras el periodo de almacenamiento establecido (Figura 3), lo que resultó indicativo de cambios en la tonalidad roja de los frutos, principalmente por efecto de oxidación de antocianinas debido al avance de la senescencia (Bodelon *et al.*, 2010). En cuanto al índice de saturación (Croma), también se observaron diferencias significativas debidas al factor variedad, siendo mayor en 'Festival' (Cuadro 1).

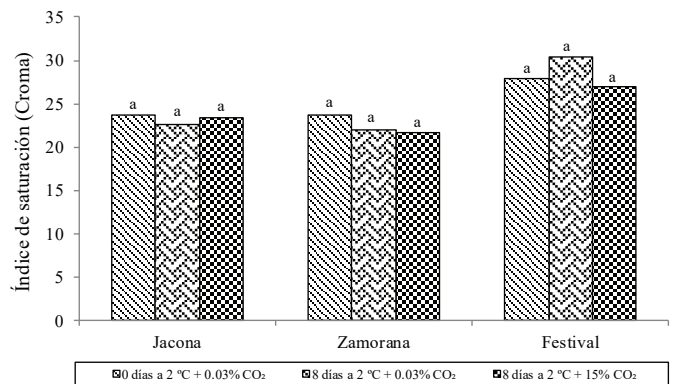


**Figura 3. Resultados del análisis de varianza (*p*-value) para la variable color (ángulo de tono; °h), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

**Figure 3. Results of the analysis of variance (*p*-value) for the color variable (pitch angle, °h), in fruits evaluated at harvest time and after treatments. Means with the same letter are statistically equal (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

Los resultados de los seis tratamientos mostraron que los frutos de la variedad Festival expuesta bajo atmósfera normal (0.03% de CO<sub>2</sub>), presentaron el mayor valor de croma (30.33) siendo indicativo de un menor avance de la senescencia. Respecto al tiempo de almacenamiento, no presentaron diferencias en el índice de saturación (Croma) dentro de cada variedad (Figura 4), respuesta que coincide con lo reportado por Holcroft y Kader (1999 b) donde no hubo diferencias significativas del valor de croma en frutos almacenados por 0, 5 y 10 días en una atmósfera controlada (20 kPa CO<sub>2</sub>) a 5 °C.

The results of the six treatments also showed that the fruits of the Festival variety exposed under normal atmosphere (0.03% of CO<sub>2</sub>) showed the highest chroma value (30.33), indicating an inferior progression of senescence. As regards storage time, there were no differences in the saturation index (Chroma) within each variety (Figure 4), a response that coincides with that reported by Holcroft and Kader (1999 b) where there were no significant differences in the chroma value in fruits stored for 0, 5 and 10 days in a controlled atmosphere (20 kPa CO<sub>2</sub>) at 5 °C.



**Figura 4. Resultados del análisis de varianza (*p*-value) para la variable color (índice de saturación o croma), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

**Figure 4. Results of the analysis of variance (*p*-value) for the color variable (saturation index or chroma), in fruits evaluated at the time of harvest and after treatments. Means with the same letter are statistically equal (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

After 8 days of storage at  $2 \pm 1$  °C, the total soluble solids content (SST) showed significant differences due to the variety factor, being 'Festival' higher (7.9 °Brix) than 'Zamorana' (6 °Brix) (Table 1). Gil *et al.* (1977) also observed that exposure in normal atmosphere (air) or under enriched atmospheres with concentrations of 10, 20 and 40% CO<sub>2</sub> in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* cv. Selva) did not affect the content of SST. On the other hand, in relation to the storage time, within each variety, only a significant decrease of SST in 'Zamorana' (Figure 5) was shown, suggesting a greater metabolic activity in this variety.

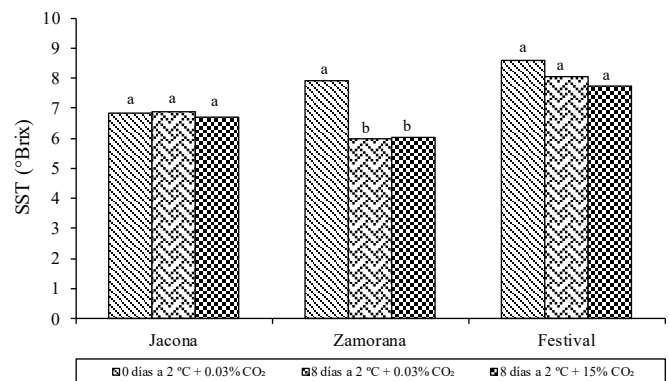
The pH of the pulp after 8 days of storage at  $2 \pm 1$  °C, was significantly different for both the variety effect and CO<sub>2</sub> concentration, being higher in 'Festival', compared to 'Jacona', which coincided with a lower (0.73%) and

Después del almacenamiento por 8 días a  $2 \pm 1$  °C, el contenido de sólidos solubles totales (SST) mostró diferencias significativas sólo debidas al factor variedad, siendo 'Festival' mayor (7.9 °Brix) con respecto a 'Zamorana' (6 °Brix) (Cuadro 1). Gil *et al.* (1977) también observaron que la exposición en atmósfera normal (aire) o bajo atmósferas con concentraciones de 10, 20 y 40% de CO<sub>2</sub> en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* cv. Selva) no afectó el contenido de SST. Por otro lado, respecto al tiempo de almacenamiento, dentro de cada variedad, sólo presentó una disminución significativa de SST en 'Zamorana' (Figura 5), que sugiere una actividad metabólica mayor en esta variedad.

El pH de la pulpa tras un almacenamiento por 8 días a  $2 \pm 1$  °C, resultó significativamente diferente tanto por el efecto variedad como concentración de CO<sub>2</sub>, siendo mayor en 'Festival', respecto a 'Jacona', lo que coincidió con un menor (0.73%) y mayor (0.88%) contenido de ácido cítrico, respectivamente, también con diferencias significativas. En cuanto al efecto tratamiento, los frutos expuestos a la atmósfera de 0.03% el pH fue significativamente mayor al tratamiento de 15% de CO<sub>2</sub>; sin embargo, el contenido de ácido cítrico fue similar (Cuadro 1), que sugiere diferencias en el metabolismo de ácidos orgánicos al utilizarse como sustrato respiratorio. Holcroft y Kader (1999a) reportaron que el almacenamiento a 5 °C y concentración de CO<sub>2</sub> mayor a 20 kPa incrementó el pH y disminuyó la acidez titulable en fresas variedad Selva en tanto que, los frutos expuestos a una concentración de 10 kPa, incrementaron el pH pero la acidez titulable permaneció similar al testigo (aire), coincidiendo este comportamiento con los resultados obtenidos en el estudio para las tres variedades estudiadas. En función del tiempo de almacenamiento, en las tres variedades el pH tendió a incrementarse respecto al valor inicial y únicamente en la variedad Zamorana, el contenido de ácido cítrico disminuyó de manera significativa, lo que evidenció un comportamiento poscosecha diferente de esta variedad con relación a 'Jacona' y 'Festival'.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la concentración de ácido ascórbico (vitamina C), se presentaron diferencias significativas por efecto de la variedad (Cuadro 1) siendo 'Festival' la de mayor concentración (45.79 mg 100 g<sup>-1</sup>), después Jacona (43.772 mg 100 g<sup>-1</sup>) y por último Zamorana (36.812 mg 100 g<sup>-1</sup>). Por otro lado, el tratamiento con CO<sub>2</sub> (15%) mantuvo, significativamente, un mayor contenido de este compuesto. En la interacción de los factores variedad y concentración de CO<sub>2</sub> no se observaron diferencias significativas; sin embargo, los frutos de las tres variedades tratados con 15% de CO<sub>2</sub> frente a los frutos almacenados en

higher (0.88%) citric acid content, respectively, also with significant differences. As for the treatment effect, in those fruits exposed to the atmosphere of 0.03% the pH was significantly higher than the treatment of 15% of CO<sub>2</sub>; however, the citric acid content was similar (Table 1), suggesting differences in the metabolism of organic acids when used as a respiratory substrate. Holcroft and Kader (1999a) reported that storage at 5 °C and CO<sub>2</sub> concentration greater than 20 kPa increased the pH and decreased the titratable acidity in strawberry fruits of Selva variety while, the fruits exposed to a concentration of 10 kPa, showed increase in pH but the titratable acidity remained similar to the control (air), coinciding this behavior with the results obtained in the study for the three varieties studied. Based on the storage time, in the three varieties the pH tended to increase with respect to the initial value and only in the Zamorana variety, the citric acid content decreased significantly, which showed a different postharvest behavior of this variety in relation to 'Jacona' and 'Festival'.



**Figura 5. Resultados del análisis de varianza (*p*-value) para la variable sólidos solubles totales (°Brix), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

**Figure 5. Results of the analysis of variance (*p*-value) for the total soluble solids (°Brix), in fruits evaluated at the time of harvest and after treatments. Means with the same letter are statistically equal (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

According to the results obtained in the concentration of ascorbic acid (vitamin C), there were significant differences due to the effect of the variety (Table 1), showing 'Festival' the highest concentration (45.79 mg 100 g<sup>-1</sup>), then Jacona (43.772 mg 100 g<sup>-1</sup>) and finally Zamorana (36.812 mg 100 g<sup>-1</sup>). On the other hand, CO<sub>2</sub> treatment (15%) significantly maintained a higher content of this compound. No significant



atmósfera normal se mantuvieron con mayor concentración de esta vitamina siendo, de 41.75 frente a 39.503 mg 100 g<sup>-1</sup> en 'Festival', 39.953 frente a 33.67 mg 100 g<sup>-1</sup> en 'Zamorana' y 48.937 frente a 38.607 mg 100 g<sup>-1</sup> en 'Jacona' (Cuadro 1).

El análisis por variedad del contenido de ácido ascórbico (Figura 6), mostró que 'Jacona' y 'Zamorana' no presentaron cambios significativos, respecto al valor inicial, por efecto de las condiciones de almacenamiento; no así en 'Festival' que tendió a disminuir significativamente, lo que supone una tendencia a perder ácido ascórbico al avanzar la senescencia por un efecto de oxidación hasta ácido dehidroascórbico. De acuerdo con Lee y Kader (2000), la pérdida de vitamina C está influenciada por factores como la variedad y condiciones de almacenamiento, y que esta pérdida de vitamina C en poscosecha es reducida en frutos almacenados en atmósferas con 10% de CO<sub>2</sub>.

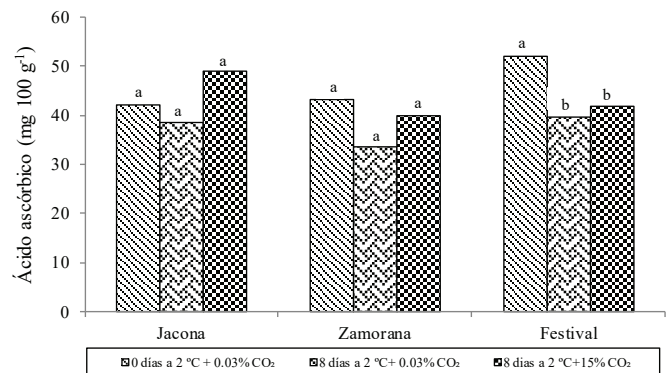
Respecto al contenido de etanol y acetaldehídos, los resultados obtenidos tras 8 días a 2 ± 1 °C los frutos tratados con CO<sub>2</sub> 15% incrementaron, de manera significativa, el contenido de etanol y acetaldehídos en la pulpa (Cuadro 1), siendo la variedad Festival la más proclive a acumular estos metabolitos. Los frutos con mayor contenido de etanol y acetaldehídos fueron los de la variedad Festival almacenados en atmósfera controlada (15% de CO<sub>2</sub>) con valores de 33.95 y 12.06 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 1). El incremento de metabolitos fermentativos ha sido reportado en frutos almacenados a 5 °C y una atmósfera compuesta por aire + 20 kPa CO<sub>2</sub> en contraste con frutos almacenados a 5 °C y atmósfera normal (aire), los cuales no presentan un incremento (Pelayo *et al.*, 2003). Larsen y Watkins (1995) reportaron valores de 36.6 mg 100 g<sup>-1</sup> de etanol y 1.38 mg 100 g<sup>-1</sup> de acetaldehído en frutos tratados con 20% de CO<sub>2</sub> por 12 días a 0 °C, dichos compuestos reflejaron un ligero mal sabor. De igual forma los frutos de la variedad Festival presentó un ligero aroma y sabor de fermentación después del almacenamiento que evidenció inducción de respiración anaerobia, esto no sucedió en frutos de Jacona y Zamorana.

## Conclusiones

Los frutos de fresa de los tres cultivares, después de exponerse a una atmósfera con 0.03% ó 15% de CO<sub>2</sub> por 8 días a 2 ± 1 °C presentaron similar comportamiento en cuanto a pérdida de peso, firmeza, luminosidad, ángulo de tono, índice de saturación y sólidos solubles totales.

differences were observed in the interaction of the CO<sub>2</sub> concentration and concentration factors; however, the fruits of the three varieties treated with 15% of CO<sub>2</sub> compared to the fruits stored in normal atmosphere maintained a higher concentration of this vitamin, respectively, being 41.750 versus 39.503 mg 100 g<sup>-1</sup> in 'Festival', 39.953 versus to 33.67 mg 100 g<sup>-1</sup> in 'Zamorana' and 48.937 versus 38.607 mg 100 g<sup>-1</sup> in 'Jacona' (Table 1).

Analysis by variety of ascorbic acid content (Figure 6) showed that 'Jacona' and 'Zamorana' did not show significant changes, relative to the initial value, due to storage conditions; but not in Festival which tended to decrease significantly, which supposes a tendency to lose ascorbic acid when senescence advanced by an effect of oxidation until dehydroascorbic acid. According to Lee and Kader (2000), vitamin C loss is influenced by factors such as variety and storage conditions, and this post-harvest vitamin C loss is reduced in fruits stored in atmospheres with 10% CO<sub>2</sub>.



**Figura 6. Resultados del análisis de varianza (*p*-value) para la variable concentración de ácido ascórbico, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, *p* ≤ 0.05).**

**Figure 6. Results of the analysis of variance (*p*-value) for the variable ascorbic acid concentration, in fruits evaluated at the time of harvest and after treatments. Means with the same letter are statistically equal (Tukey, *p* ≤ 0.05).**

Regarding the ethanol and acetaldehyde contents, the results obtained after 8 days at 2 ± 1 °C the fruits treated with 15% CO<sub>2</sub> significantly increased the content of ethanol and acetaldehydes in the pulp (Table 1), being the Festival variety the most likely to accumulate these

Durante el almacenamiento, los frutos de las variedades mexicanas Jacona y Zamorana presentan mayor firmeza al momento de cosecha pero durante el almacenamiento muestra pérdidas de firmeza más acelerada respecto a 'Festival'. Por otro lado, el valor del ángulo de tono de las tres variedades disminuye significativamente, independientemente del tipo de atmósfera, lo que resulta en una tonalidad roja diferente a la inicial.

El almacenamiento en 0.03% ó 15% de CO<sub>2</sub> por 8 días a 2 ± 1 °C incrementa el pH de la pulpa, principalmente en la variedad 'Festival', pero no se presentan cambios en el contenido de ácido cítrico; por su parte, independientemente de la variedad, los frutos almacenados a una concentración de 15% de CO<sub>2</sub> mantienen mayor contenido de vitamina C respecto a los frutos almacenados con 0.03% (atmósfera normal).

Después del almacenamiento por 8 días a 2 ± 1 °C, la concentración de etanol y acetaldehído aumenta de manera significativa en los frutos expuestos 15% de CO<sub>2</sub> respecto a los almacenados en aire (0.03% de CO<sub>2</sub>), la variedad con mayor acumulación y percepción de metabolitos fermentativos es Festival.

Se requiere probar otras concentraciones y periodos de almacenamiento que permitan definir la mejor opción para mantener la calidad de las variedades mexicanas.

## Literatura citada

- AOAC (Association of official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis. Fruits and fruits products. Kenneth (Ed), 15th. 3:1298.
- AOAC (Association of official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis (Method 967.22) Werwitz, W. (Ed). Method, 17th. 2:2200.
- Ayala, Z. J. F.; Wang, S. Y.; Wang, C. Y. and González, A. G. A. 2004. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Swiss Society of Food Science and Technology*. 37:687-695.
- Bazant, J. 2010. Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio abierto*. 19(3).
- Bodelón, G. O.; Blanch, M. M. T.; Sánchez, B.; Escribano, M. I. and Merodio, C. 2010. The effects of high CO<sub>2</sub> levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low non-freezing temperature. *Food Chem*. 122:673-678.
- Cordenunsi, B. R.; Nascimento, J. R. O. and Lajolo, F. M. 2003. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chem*. 83:167-173.

metabolites. The fruits with the highest content of ethanol and acetaldehydes were those of the Festival variety stored in controlled atmosphere (15% of CO<sub>2</sub>) with values of 33.95 and 12.06 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectively (Table 1). The increase of fermentative metabolites has been reported in fruits stored at 5 °C and an atmosphere composed by air + 20 kPa CO<sub>2</sub> in contrast to fruits stored at 5 °C and normal atmosphere (air), which do not present an increase (Pelayo *et al.*, 2003). Larsen and Watkins (1995) reported values of 36.6 mg 100 g<sup>-1</sup> of ethanol and 1.38 mg 100 g<sup>-1</sup> of acetaldehyde in fruits treated with 20% CO<sub>2</sub> for 12 days at 0 °C, these compounds showed a slight bad taste. Likewise, the fruits of Festival variety showed a slight aroma and characteristic flavor of fermentation after storage, which evidenced the induction of anaerobic respiration, a response that did not occur in fruits of the Jacona and Zamorana varieties.

## Conclusions

The strawberry fruits of the three cultivars, after being exposed to an atmosphere with 0.03% or 15% CO<sub>2</sub> for 8 days at 2 ± 1 °C, showed similar behavior in terms of weight loss, firmness, luminosity, tone angle, saturation index and total soluble solids.

During storage, the fruits of the Mexican varieties Jacona and Zamorana showed greater firmness at the moment of harvest, but during the storage it shows more accelerated firmness losses with respect to 'Festival'. On the other hand, the value of the tone angle of the three varieties decreases significantly, independently of the atmosphere type, which results in a different red tone than the initial one.

Storage at 0.03% or 15% CO<sub>2</sub> for 8 days at 2 ± 1 °C increases the pH of the pulp, mainly in the 'Festival' variety, but there are no changes in citric acid content; regardless of the variety, fruits stored at a concentration of 15% of CO<sub>2</sub> maintain a higher content of vitamin C than fruits stored with 0.03% (normal atmosphere).

After storage for 8 days at 2 ± 1 °C, the concentration of ethanol and acetaldehyde increased significantly in those in fruits exposed 15% of CO<sub>2</sub> compared to those stored in air (0.03% of CO<sub>2</sub>), the variety with the highest accumulation and perception of fermentative metabolites is Festival.

- Deirdre, M. H. and Kader, A. A. 1999. Carbon dioxide-induced changes in color and anthocyanin synthesis of stored strawberry fruit. *Hort Sci.* 34(7):1244-1248.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2012). Statistics production. <http://faostat.fao.org/site/567>.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. Statistics export and import. <http://faostat.fao.org/site/342>.
- Gil, M. I.; Holefoft, D. M. and Kader, A. A. 1997. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *J. Agric. Food Chem.* 45(5):1662-1667.
- Gooding, H. J. 1976. Resistance to mechanical injury and assessment of shelf life in fruits of strawberry (*Fragaria\*ananassa*). *Hortic. Res.* 71-82.
- Holcroft, D. M. and Kader, A. A. 1999a. Carbon dioxide-induced changes in color and anthocyanin synthesis of storage strawberry fruit. *Hort Science.* 34:1244-1248.
- Holcroft, D. M. and Kader, A. A. 1999b. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 17:19-32.
- Jiménez, B. S.; Redondo, N. J.; Muñoz, B. J.; Caballero, L. J.; López A. J. M.; Valpuesta, V.; Pliego-Alfaro, F.; Quesada, M. A. and Mercado, J. A. 2002. Manipulation of strawberry fruit softening by antisense expression of a pectate lyase gene. *Plant Physiol.* 128:251-259.
- Larsen, M. and Watkins, C. B. 1995. Firmness and aroma composition of strawberries following short-term high carbon dioxide treatments. *Hort Sci.* 30(2):303-305.
- Lee, S. K. and Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20:207-220.
- Mitcham, E. J. y Mitchell, F. G. 2002. Sistema de manejo poscosecha: frutas pequeñas. *In: tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas*. Kader, A. A. Traducc. 2007. Postharvest Technology Research and Information Center. UC Davis-Department of Plant Sciences. 580 p.
- It is necessary to test other concentrations and periods of storage that allow to define the best option to maintain the quality of the Mexican varieties.

*End of the English version*



- Norma Mexicana. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano -fruta fresca- fresa (*Fragaria\*ananassa*, Dutch)- especificaciones y método de prueba. Diario Oficial de la Federación. NMX-FF-062-SCFI-2002.
- Pelayo, Z. C.; Ebeler, S. E. and Kader, A. A. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air + 20 kPa CO<sub>2</sub>. *Postharvest Biol. Technol.* 27:171-183.
- Pelayo, Z. C.; Jameleddine, B. A.; Susan, E. E. and Adel, A. K. 2007. Quality and chemical changes associated with flavor of Camarosa strawberries in response to a CO<sub>2</sub> enriched atmosphere. *HortSci.* 42(2):299-303.
- Peng, J.; Wang, S. Y.; Wang, C. Y. and Zheng, Y. 2011. Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic in strawberries. *Food Chem.* 124:262-270.
- Perkins, V. P. 1995. Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticulture Review.* 17:267-297.
- Pineli, L. O.; Moretti, C. L.; Santos dos, M. S.; Campos, A. B.; Brasileiro, A. V.; Cordova, A. C.; and Chiarello, M. D. 2011. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. *J. Food Compos. Anal.* 24:11-16.
- Robinson, J. E.; Browne, K. M. and Burton, W. G. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Ann. Appl. Biol.* 81:399-408.
- SAS. 2000. The SAS system for Windows. Versión 9.0 SAS Inst. Cary, NC. USA.