

CALIDAD Y VIDA DE ANAQUEL DE TRES CULTIVARES DE FRESA (*Fragaria ananassa*) TRATADAS CON CONCENTRACIONES ALTAS DE CO₂ POR PERIODO CORTO

QUALITY AND SHELF LIFE OF THREE STRAWBERRY (*Fragaria ananassa*) CULTIVARS TREATED WITH HIGH CONCENTRATIONS OF CO₂ FOR SHORT PERIOD

Iván Franco-Gaytán¹, Crescenciano Saucedo-Veloz^{1*}, Guillermo Calderón-Zavala¹, Nicacio Cruz-Huerta¹, Daniel Teliz-Ortiz², Rosa M. Galicia-Cabrera³

¹Recursos Genéticos y Productividad, ²Fitopatología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México. (franco.ivan@colpos.mx) (sauveloz@colpos.mx) (cazagu@colpos.mx) (ncruzh@colpos.mx) (dteliz@colpos.mx). ³Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. 09340. Avenida San Rafael Atlixco 186, Colonia Vicentina. Delegación Iztapalapa, México. (rcmg@xanum.uam.mx).

RESUMEN

La frigoconservación y tratamientos con atmósferas controladas son alternativas para controlar en postcosecha el crecimiento de *Botrytis cinerea* y disminuir la pérdida de calidad en fresa (*Fragaria ananassa*). El objetivo del experimento fue evaluar el efecto de concentraciones altas de CO₂ en el desarrollo de pudriciones causadas por *Botrytis cinerea*, y determinar la vida de anaquel en cuatro cultivares de fresa. El diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques al azar; la parcela grande fue el tiempo de evaluación (3 d y 5 d), la parcela chica la concentración de CO₂ (5 % y 10 %) y como bloques los cultivares de fresa. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La unidad experimental fue un fruto y hubo cinco repeticiones por tratamiento. En los cultivares mexicanos CP-LE7, Zamorana, y Jacona y en el Festival como testigo las variables evaluadas fueron: color, firmeza, pérdida de peso, porcentaje de pudriciones, azúcares totales, acidez titulable, sólidos solubles totales, pH, etanol y acetaldehído. Los frutos se almacenaron a 3 °C con dos atmósferas controladas con 5 y 10 % CO₂ durante 3 o 5 d, más 2 d a 20 °C $\pm$ 2 °C y 50 a 60 % HR. Los tres cultivares CP-LE7, Zamorana y Jacona presentaron atributos menores en sabor (SST y AT) que Festival, pero CP-LE7 sobresalió en firmeza (22.36 N) y contenido de azúcares totales (9.02 g 100 g⁻¹ fresa); Zamorana perdió menos peso (0.88 % y 15.23 %) y Jacona presentó frutos rojo brillante ($L=32.62$, $^{\circ}h=34.05$, $C=26.02$). Ninguna concentración de CO₂ y frío modificaron la AT, SST, SST/AT, color, pH y azúcares totales al finalizar los tratamientos; sin

ABSTRACT

Refrigeration and controlled-atmospheres treatments are alternatives to control the growth of *Botrytis cinerea* during the postharvest and to reduce quality loss in strawberries (*Fragaria ananassa*). The objective of this experiment was to evaluate the effect of high CO₂ concentrations on the development of rots caused by *Botrytis cinerea*, and to determine the shelf life of four strawberry cultivars. The experimental design was split-plot in complete randomized blocks. The evaluation time (3 d and 5 d) was assigned to the main plot; the CO₂ concentration (5 % and 10 %) was assigned to the subplot; and the strawberry cultivars were considered as blocks. Means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$). The experimental unit was one fruit and there were five replicates per treatment. In the Mexican cultivars—CP-LE7, Zamorana, Jacona—and the introduced one, Festival, as control, the evaluated variables were: color, firmness, weight loss, rot percentage, total sugars, titratable acidity, total soluble solids, pH, ethanol, and acetaldehyde. Fruits were stored at 3 °C under two controlled atmospheres—5 and 10 % of CO₂ for 3 or 5 d—, plus 2 d at 20 °C $\pm$ 2 °C and 50 to 60 % RH. Cultivars CP-LE7, Zamorana, and Jacona were less tasty (SST and AT) than Festival, but CP-LE7 excelled in firmness (22.36 N), and total sugar content (9.02 g 100 g⁻¹ strawberry); meanwhile, Zamorana lost less weight (0.88 % and 15.23 %) and Jacona produced bright red fruits ($L=32.62$, $^{\circ}h=34.05$, $C=26.02$). No concentration of CO₂ and cold modified AT, SST, SST/AT, color, pH, and total sugars at the end of the treatments; however, after 2 d at room temperature, and under normal atmosphere conditions, there are significant changes in quality.

Key words: controlled atmospheres, refrigeration, CO₂ concentration, strawberry, *Fragaria ananassa*.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2017. Aprobado: octubre, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 393-406. 2018.

embargo, después de 2 d a temperatura ambiente y atmósfera normal hay cambios significativos en la calidad.

Palabras clave: atmósferas controladas, refrigeración, concentración CO₂, fresa, *Fragaria ananassa*.

INTRODUCCIÓN

La producción de fresa (*Fragaria ananassa*) en México es cerca de 360 mil t de fruta fresca, de las cuales se exportan 77 mil (21.3%), con un valor de 142.1 millones de dólares (FAOSTAT, 2012). Entre las principales variedades cultivadas están: Festival, Sweet Charlie, Galaxia, Camino Real, Albion, Camarosa y Diamante, todas provienen de plantas madre importadas de EUA y en México se multiplican en viveros, luego se trasplantan y desarrollan en campo o sistemas protegidos. En el Colegio de Postgraduados, México, se han realizado estudios para generación de variedades mexicanas, que están en evaluación, en los aspectos tecnológicos para la producción, resistencia a plagas y enfermedades, época de cosecha y calidad de fruto. Las variedades que han sobresalido son: CP-LE7, Zamorana y Jacona; las dos últimas están en proceso de registro en el Registro Nacional Agropecuario de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de México.

Los frutos de fresa son muy perecederos debido a su actividad metabólica alta y susceptibilidad elevada a daños mecánicos, pérdidas de agua y desarrollo de pudriciones causadas principalmente por *Botrytis cinerea* (Anderson *et al.*, 2004). La temperatura es uno de los factores principales que acelera el deterioro de los frutos de fresa, por lo que el diseño de una adecuada cadena de frío es importante para lograr una vida de anaquel acorde con los requerimientos de comercialización establecidos. Las fresas se cosechan y empaquetan en campo, y luego se enfrían hasta la temperatura de almacenamiento o transporte o ambos. De acuerdo con Nunes *et al.* (1995), un retraso en el enfriamiento de 6 h en frutos cosechados a 30 °C, causa una disminución significativa de la firmeza, además de pérdidas de la apariencia. Las temperaturas de refrigeración recomendadas para frutos de fresa van de 0 a 0.5 °C (Anderson *et al.*, 2004). Atmósferas con concentraciones altas de CO₂ (10 a 20 %) se usan durante el transporte y almacenamiento refrigerado de frutos de fresa para retardar su deterioro por efecto

INTRODUCTION

In Mexico, approximately 360 thousand t of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) are produced each year, out of which 77 thousand (21.3 %) are exported, with a value of 142.1 million dollars (FAOSTAT, 2012). The main cultivated varieties are: Festival, Sweet Charlie, Galaxy, Camino Real, Albion, Camarosa, and Diamante. All these varieties come from mother plants imported from the USA to Mexico, where they are multiplied in nurseries, then transplanted, and grown in field or protected systems. In the Colegio de Postgraduados, Mexico, studies were carried out in order to generate Mexican varieties, which are under technological evaluation for production, pests and diseases resistance, harvest season, and fruit quality. The varieties that have stood out are: CP-LE7, Zamorana, and Jacona; the last two are awaiting their acceptance by the Registro Nacional Agropecuario and the Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación of Mexico.

Strawberry fruits are very likely to decay or go bad quickly, due to their high metabolic activity, extreme susceptibility to mechanical damage, water loss, and rot development, caused mainly by *Botrytis cinerea* (Anderson *et al.*, 2004). Temperature is one of the main factors that accelerate the deterioration of strawberry fruits; therefore, designing an adequate cold chain is important to achieve a shelf life that fulfills established commercialization requirements. Strawberries are harvested and packaged in the field, and then precooled up to storage or transport temperature (or both). According to Nunes *et al.* (1995), a 6 h delay in cooling fruits harvested at 30 °C significantly diminishes firmness, and affects its losses. Recommended refrigeration temperatures for strawberry fruits range from 0 to 0.5 °C (Anderson *et al.*, 2004). Atmospheres with high CO₂ concentrations (10 to 20 %) are used during transport and refrigerated storage of strawberry fruits, in order to delay the damage caused by tissue softening, accelerated water loss, and rot development (Tudela *et al.*, 2003). However, depending on the cultivar, production technology, and concentration of CO₂, the anaerobic metabolism is stimulated, which—depending on the exposure time—favors the accumulation of ethanol and acetaldehydes, with the consequent perception of unpleasant flavors and aromas (Deell, 2006). The strawberry fruits

de ablandamiento de tejidos, pérdidas aceleradas de agua y desarrollo de pudriciones (Tudela *et al.*, 2003). Sin embargo, dependiendo del cultivar, tecnología de producción y concentración de CO₂, se estimula el metabolismo anaeróbico con el cual, dependiendo del tiempo de exposición, se favorece la acumulación de etanol y acetaldehídos, con la consecuente percepción de sabores y aromas desagradables (Deell, 2006). La respuesta de los frutos de fresa al tratamiento de refrigeración con o sin atmósferas enriquecidas con CO₂, varía con el cultivar y Pelayo *et al.* (2003) reportan diferencias en la vida postcosecha de dos a cuatro días entre los cultivares de fresa Aromas, Selva y Diamante.

En los cultivares de fresa mexicana se desconocen las respuestas, bioquímicas y fisiológicas de los frutos al uso de atmósferas controladas y temperaturas de refrigeración. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos concentraciones altas de CO₂ por un periodo corto en los cambios asociados con la calidad, control de pudriciones y vida de anaquel de tres cultivares de fresa mexicana. La hipótesis fue que las variedades de fresa presentan una maduración similar entre ellas, por lo que la calidad en los frutos presentará el mismo comportamiento y respuesta a los tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación se cosecharon frutos de los cultivares de fresa mexicana registradas como CP-LE7, Zamorana y Jacona, así como del cultivar introducido Festival (testigo). Las plantas se desarrollaron en una parcela comercial de la zona productora de Tangancicuaro (19° N 102° O), Michoacán, y el clima es templado tropical. De cada cultivar se cosechó una muestra al azar de frutos con grado de madurez $\frac{3}{4}$ de color rojo, se eliminaron aquellos con defectos, daños físicos o por patógenos; luego, con los frutos sanos se conformaron dos tratamientos de acuerdo con las condiciones de conservación: frutos almacenados a 3 °C con atmósfera con 5 % de CO₂ (3 °C+5 % CO₂), y 3 °C con atmósfera de 10 % de CO₂ (3 °C+10 % CO₂). Los frutos se almacenaron durante 3 y 5 d en las condiciones del tratamiento más, en cada caso, 2 d al ambiente (20±2 °C; 50-60 % HR). Para cada tratamiento con CO₂, se usaron cuatro recipientes de 4 L por cultivar, se colocaron en cada uno 800 g de frutos de fresa. Para establecer las atmósferas deseadas se utilizó un mezclador de gases (Postharvest Research, UC, Davis, CA, USA, Serie 916-753-4587 con 6 estaciones mezcladoras), para la multiplicación y distribución de las mezclas de gases generadas se usaron tableros con capilares calibrados con los flujos siguientes para 5 % y 10 % de CO₂, respectivamente:

response to refrigeration treatment—with or without atmospheres enriched with CO₂— varies with the cultivar, and Pelayo *et al.* (2003) reported differences in postharvest life from 2 to 4 d among the strawberry cultivars Aromas, Selva, and Diamante.

The biochemical and physiological responses of the fruits in the Mexican strawberry cultivars to the use of controlled atmospheres and refrigeration temperatures are unknown. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of two high CO₂ concentrations for a short period in the changes associated with quality, rot control, and shelf life of three Mexican strawberry cultivars. The hypothesis was that the strawberry varieties have similar maturation; therefore, fruit quality will have the same behavior and response to the treatments.

MATERIALS AND METHODS

For this research, fruits from three Mexican strawberry cultivars CP-LE7, Zamorana, and Jacona, as well as from the introduced cultivar Festival (control) were harvested. The plants were grown in a commercial plot from the production area of Tangancicuaro (19° N, 102° W), State of Michoacan. Local climate is temperate tropical. From each cultivar, a random sample of red fruits with $\frac{3}{4}$ ripeness was harvested. Defective fruits—with physical or pathogen damage— were discarded; then, two treatments were formed with healthy fruits, according to the storage conditions: fruits stored at 3 °C with 5 % CO₂ atmosphere (3 °C+5 % CO₂), and at 3 °C with 10 % CO₂ atmosphere (3 °C+10 % CO₂). The fruits were stored for 3 and 5 d in the treatment conditions, plus, in each case, 2 d in environment conditions (20±2 °C, 50-60 % RH). For each CO₂ treatment, four 4-L containers were used per cultivar; 800 g of fruit were placed in each one. In order to establish the desired atmospheres, a gas mixer was used (Postharvest Research, UC, Davis, CA, USA, Series 916-753-4587 with 6 mixing stations). In order to multiply and distribute the gas mixtures generated, boards were used with calibrated capillaries, with the following flows—for 5 % and 10 % CO₂, respectively—: CP-LE7 (1.78 and 1.93 L min⁻¹), Zamorana (2.00 and 2.13 L min⁻¹), Jacona (1.99 and 2.12 L min⁻¹), and Festival (2.00 and 2.14 L min⁻¹). In order to monitor the gases, a Telaire 7001 CO₂ Monitor with ± 0.5 % effectiveness was used. In addition, gas flow was humidified prior to the entrance of the distribution boards to maintain a 90 % RH in the containers.

In order to evaluate the rot development caused by *Botrytis cinerea*, an incidence analysis was carried out with 50 fruits from each cultivar. Fruits were harvested and exposed to the

CP-LE7 (1.78 y 1.93 L min^{-1}), Zamorana (2.00 y 2.13 L min^{-1}), Jacona (1.99 y 2.12 L min^{-1}) y Festival (2.00 y 2.14 L min^{-1}). Para el monitoreo de gases se usó un medidor Telaire Modelo 7001 con efectividad de $\pm 0.5 \%$; además, el flujo de gases se humidificó previo a la entrada de los tableros de distribución para mantener una HR del 90% en los recipientes.

Para la evaluación del desarrollo de pudriciones por *Botrytis cinerea*, se realizó un análisis de incidencia con 50 frutos de cada cultivar. Los frutos se cosecharon y se expusieron a las concentraciones establecidas de CO_2 ; se cuantificó el número de frutos sanos y con presencia de pudriciones a la salida del tratamiento de refrigeración y CO_2 durante 5 d. Los datos se reportaron como porcentaje de frutos sanos y con pudriciones.

Las evaluaciones se realizaron al momento de cosecha a los 3 y 5 d con los tratamientos y después de tener los frutos 2 d al ambiente. Las variables determinadas fueron: concentración de acetaldehídos en pulpa, mediante el método descrito por Davis y Chase (1969); para esto se pesaron por cultivar 5 g de pulpa los cuales se colocaron en un vial de 25 mL y se sellaron herméticamente; se prepararon cinco viales para establecer repeticiones por cultivar. Los viales se incubaron 10 min en baño María a 32°C , se agitaron 5 s, se tomó una muestra de 1 mL del espacio de cabeza y se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo 5900 II (CA, USA). Las temperaturas de operación fueron de 170°C en la columna (inyector inlet), 180°C en el detector A o TCD (Detector de Conductividad Térmica), y 180°C en el detector FID (Detector de Ionización de Flama) y 150°C en el horno. Antes se preparó un número igual de viales con 5 mL de una solución de etanol y acetaldehído con concentración conocida (estándar), los cuales siguieron el mismo procedimiento. Para ambos metabolitos los datos se reportaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fruta. Las pérdidas de peso se evaluaron en una muestra de 10 frutos por tratamiento y al final de la exposición al ambiente; con los datos se calcularon las pérdidas de peso con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ pp} = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial} \times 100$$

El color del fruto se midió en 10 frutos por tratamiento y cultivar, realizando medidas en la zona ecuatorial media del fruto con un colorímetro de reflexión Hunter Lab modelo D25A (Virginia, USA), registrando los parámetros CIELAB $L^*a^*b^*$, con los cuales se calcularon el ángulo de tono ($^{\circ}\text{h} = \text{atan}(b^*/a^*)$) y el índice de saturación ($\text{Chroma (C)} = (a^2 + b^2)^{1/2}$). La firmeza de la pulpa se midió en una muestra de 5 frutos por tratamiento y cultivar, de manera individual en los lados opuestos del diámetro medio, utilizando un texturómetro modelo FVD-30 con un puntal cónico (Wagner Instruments, CT, USA), y los datos se reportaron en Newton (N). La acidez titulable se evaluó con

establecidos CO_2 concentraciones. The number of healthy and rotting fruits was quantified after 5 d stored under CO_2 and refrigeration treatment. Data were reported as percentage of healthy and rotting fruits.

The evaluations were carried out at the time of harvest at 3 and 5 d with treatments and after the fruits were 2 d under environmental conditions. The recorded variables were: acetaldehyde concentration in pulp, using the method described by Davis and Chase (1969). In order to do so, 5 g of pulp per cultivar were weighed and placed in one 25-mL vial, which was hermetically sealed. Each vial was one replicate, and there were five replicates per cultivar. These vials were incubated 10 min in a bain-marie at 32°C ; then, they were shaken for 5 s; finally, a 1 mL sample was taken from the headspace and injected in a Hewlett Packard gas chromatograph, model 5900 II (CA, USA). The operating temperatures were: 170°C in the column (injector inlet), 180°C in the Detector A or TCD (Thermal Conductivity Detector), 180°C in the FID detector (Flame Ionization Detector), and 150°C in the oven. Previously, an equal number of vials were prepared with a 5 mL solution of ethanol and acetaldehyde with known concentration (standard), following the same procedure. The data for both metabolites were reported in $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fruit. The weight losses were evaluated in a sample of 10 fruits per treatment, at the end of the environment exposure; based on that data, the weight losses were calculated with the following formula:

$$\% \text{ pp} = (\text{Initial Weight} - \text{Final Weight}) / \text{Initial weight} \times 100$$

Fruit color was measured in 10 fruits per treatment and cultivar, around their horizontal diameter, with a Hunter Lab tristimulus colorimeter model D25A (Virginia, USA). The CIELAB $L^*a^*b^*$ parameters were recorded, which were used to calculate the hue angle ($^{\circ}\text{h} = \text{atan}(b^*/a^*)$), and the saturation index ($\text{Chroma (C)} = (a^2 + b^2)^{1/2}$). Pulp firmness was measured individually in a sample of 5 fruits per treatment and cultivar, on the opposite sides of the average diameter, using a digital force gage model FVD-30 with a conic probe (Wagner Instruments, CT, USA), and data were recorded in Newtons (N). Titratable acidity (AT) was evaluated based on the determination of citric acid content (%), according to the AOAC method (1990): in 5 fruits per treatment and cultivar, a 5-g sample per fruit was individually weighed; then, each sample was homogenized with 50 mL of distilled water; subsequently, a 5-mL aliquot was taken from the filtrate, and it was titrated with NaOH 0.1 N, using phenolphthalein in alcohol solution (2.5 %) as indicator. The pH of the same filtrate was determined using a potentiometer (Corning model 12, NY, USA). In the juice of the same number of fruits per treatment and cultivar, the total soluble solids

base en la determinación del contenido de ácido cítrico (%) según el método de la AOAC (1990); en una muestra de 5 frutos por tratamiento y cultivar, individualmente se pesaron 5 g, los cuales se homogeneizaron con 50 mL de agua destilada, después de un filtrado se tomó una alícuota de 5 mL, que se tituló con NaOH 0.1N, usando como indicador fenolftaleína en solución alcohólica (2.5 %). En el mismo filtrado se determinó el pH con un potenciómetro Corning, modelo 12 (NY, USA). En el jugo de igual número de frutos por tratamiento y cultivar, se midió el contenido de sólidos solubles totales según el método de la AOAC (1990), se usó un refractómetro Atago modelo Pr-100 (Guangzhou, China) y los valores se reportaron como °Brix. En 5 frutos por tratamiento y cultivar, de manera individual se determinó el contenido de azúcares totales mediante el método colorimétrico de Antrona, obteniendo 1.0 g de pulpa por fruto a los cuales se adicionaron 60 mL de alcohol 80 % en matraz erlenmeyer, la mezcla hirvió 10 min y se enfrió hasta la temperatura ambiente, luego se filtró y se ajustó a un volumen de 25 mL, del cual se tomó una alícuota de 1.0 mL, se deshidrató en baño María a 55 °C, se adicionaron 60 mL de agua destilada, 1.0 mL de esta solución se colocó en un tubo de ensayo y se adicionaron 3 mL de agua destilada más 6 mL de reactivo Antrona en un baño con hielo. Los tubos de ensayo se pusieron 3 min en un baño con agua a ebullición, se enfriaron rápidamente con agua con hielo y se leyó la absorbancia a 600 nm. Para los cálculos se obtuvo una curva estándar de glucosa y los datos se reportaron como g azúcares 100 g⁻¹ fruta.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue parcelas divididas en bloques al azar, la parcela grande fue el tiempo de evaluación (3 y 5 d), la parcela chica fue la concentración de CO₂ (5 % y 10 %) y los cultivares de fresa se consideraron como bloques. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), cada fruto fue una unidad experimental con cinco o diez repeticiones, y para el análisis se usó SAS 9.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los frutos de cada variedad al momento de cosecha, no mostró diferencias significativas en las variables evaluadas. Después de analizar los datos al finalizar los tratamientos el análisis de varianza mostró, respecto a la calidad interna, que los frutos de Zamorana tuvieron mayor acidez (1.13 % ácido cítrico) comparados con los demás cultivares. Cabe resaltar que los SST, la relación SST / AT, pH, azúcares totales y acetaldehído se mantuvieron en

content was individually measured according to the AOAC method (1990), using a digital refractometer (Atago model Pr-100, Guangzhou, China), and the values were recorded in °Brix. In 5 fruits per treatment and cultivar, the total sugar content was determined individually using the Anthrone colorimetric method: 1.0 g of pulp per fruit was weighed, then mixed with 60 mL of 80 % alcohol in an Erlenmeyer flask. This mixture was boiled for 10 min, and cooled down to room temperature. Then, it was filtered, and adjusted to a volume of 25 mL, out of which a 1.0-mL aliquot was taken, dehydrated in a bain-marie at 55 °C, and 60 mL of distilled water were added. A 1.0 mL aliquot of this solution, 3 mL of distilled water plus 6 mL of Anthrone reagent were added to a test tube placed in an ice bath. The test tubes were then placed in a bath with boiling water for 3 min, before cooling them rapidly with ice water. Finally, the absorbance was read at 600 nm. For calculation purposes, a standard glucose curve was obtained, and the data were reported as g sugars 100 g⁻¹ fruit.

Statistical analysis

The experimental design was split-plot in complete randomized blocks. The evaluation time (3 d and 5 d) was assigned to the main plot; the CO₂ concentration (5 % and 10 %) was assigned to the subplot; and the strawberry cultivars were considered as blocks. Means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$). The experimental unit was one fruit, and five or ten replications were carried out. The results were analyzed using SAS 9.0 for Windows.

RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of the fruits of each variety at harvest time did not show any significant differences with regard to the variables evaluated. After analyzing the data at the end of the treatments, the analysis of variance showed that regarding the internal quality, Zamorana fruits had higher acidity (1.13 % citric acid), as compared to the others cultivars. It is important to point out that the SST, the SST/AT ratio, pH, total sugars, and acetaldehyde kept similar concentrations in the four cultivars, after the controlled atmosphere treatments, and their values were close to the initial ones. After the fruits were kept 2 d under environment conditions of temperature and atmosphere, the total sugar content increased significantly: CP-LE7 showed the highest content (9.02 g 100 g⁻¹ fruit), in addition to a greater accumulation of acetaldehyde (26.02 mg

concentraciones similares en los cuatro cultivares, después de estar con los tratamientos de atmósfera controlada, y mantuvieron valores cercanos a los iniciales. Después de que los frutos estuvieron 2 d en condiciones normales de temperatura y atmósfera el contenido de azúcares totales aumentó significativamente: CP-LE7 mostró el mayor contenido ($9.02 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ fruta), además de una mayor acumulación de acetaldehído ($26.02 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ fruta). Los resultados de la concentración de compuestos volátiles como respuesta a la exposición de los frutos a las altas concentraciones de CO_2 , presentó cambios solo en la concentración de acetaldehído, pero no se detectó etanol (Cuadro 1). De acuerdo con Ke *et al.* (1991), la exposición de productos hortofrutícolas a una condición de estrés por bajas concentraciones de O_2 o altas de CO_2 , o ambas, estimulan respiración anaeróbica favoreciendo la acumulación de acetaldehído y etanol. Pelayo *et al.* (2007) reportan que la exposición de fresas ‘Camarosa’ a una atmósfera de 19.7 % de CO_2 a 5°C , favoreció la acumulación de metabolitos fermentativos lo que provocó cambios en el perfil de aromas y cambios indeseables en el sabor de los frutos. Los resultados de la concentración de acetaldehído muestran la estimulación del metabolismo anaeróbico por la exposición a los altos niveles de CO_2 , porque en todos los tratamientos la concentración de acetaldehído aumentó, respecto al momento de cosecha. Pelayo *et al.* (2003) documentaron diferencias en la acumulación de metabolitos fermentativos totales entre los cultivares de fresa Selva, Diamante y Aromas almacenados en una atmósfera con 19.7 % de CO_2 a 5°C por 7 d. Esto sugiere que los resultados obtenidos en la acumulación de acetaldehído presentan diferencias en la sensibilidad a la acumulación de metabolitos anaeróbicos entre los cultivares de fresa mexicana estudiados.

Las variables de calidad externa de los frutos mostraron que Jacona presentó frutos más brillantes ($L=34.54$), y Festival frutos con un índice de saturación mayor ($C=32.33$). Las variedades mexicanas presentaron frutos más firmes con respecto a la variedad comercial y con valores mayores a 20 N, destacando CP-LE7 con 22.35 N. La firmeza en las cuatro variedades disminuyó después de 2 d en condiciones ambientales, pero las variedades mexicanas mantuvieron frutos más firmes que Festival. La pérdida de peso durante la aplicación de los tratamientos fue baja, CP-LE7 presentó una pérdida mayor (1.78 %) y Zamorana mostró mejor resistencia a la deshidratación

100 g^{-1} fruit). The results of the volatile compounds concentration—as a response to the fruits’ exposure to high CO_2 concentrations—presented changes only with regard to acetaldehyde concentration, but no ethanol was detected (Table 1). According to Ke *et al.* (1991), in horticultural products exposed to stress condition—due to low O_2 concentrations, high CO_2 concentrations, or both—anaerobic respiration is stimulated, which favors the accumulation of acetaldehyde and ethanol. Pelayo *et al.* (2007) report that the exposure of ‘Camarosa’ strawberries to a 19.7 % CO_2 atmosphere at 5°C favored the accumulation of fermentative metabolites, which caused changes to the aroma profile and undesirable changes to the fruit taste. The acetaldehyde concentration results show that the exposure to high CO_2 levels stimulates anaerobic metabolism, because, in all treatments, the acetaldehyde concentration increased, compared to the concentration at harvest time. Pelayo *et al.* (2003) documented differences in the accumulation of total fermentative metabolites among Selva, Diamante, and Aromas strawberry cultivars, after they were stored in a 19.7 % CO_2 atmosphere at 5°C for 7 d. This suggests that the acetaldehyde accumulation results show differences in the sensitivity to the accumulation of anaerobic metabolites among the Mexican strawberry cultivars studied.

The fruit external quality variables showed that Jacona had brighter fruits ($L=34.54$), while Festival produced fruits with a higher saturation index ($C=32.33$). The Mexican varieties had firmer fruits than the commercial variety did, and their values were higher than 20 N; CP-LE7 stood out with 22.35 N. The firmness in the four varieties decreased after 2 d under environment conditions, but the fruit of the Mexican varieties remained firmer than the Festival fruits did. The weight loss during the high CO_2 concentration and refrigeration treatments was low: CP-LE7 presented a greater loss (1.78 %) and Zamorana showed better resistance to fruit dehydration (0.88 %). This implies that—under the said storage conditions—Mexican Zamorana strawberry cultivar is less sensitive to weight loss, compared to other cultivars. Regarding the storage time, the greatest weight losses occurred when the fruits were transferred to room temperature and environment atmosphere conditions, and Festival lost up to 19.84 %. Color, luminosity, hue angle, and

de los frutos (0.88 %), lo que implica que, bajo las condiciones de almacenamiento establecidas, el cultivar de fresa mexicana Zamorana es menos sensible a las pérdidas de peso, respecto a los otros cultivares. En función del tiempo de almacenamiento, las mayores pérdidas de peso ocurrieron al transferir los frutos a las condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal, y Festival perdió hasta 19.84 %. El color, la luminosidad, el ángulo de tono y el índice de saturación de los frutos disminuyeron bajo estas condiciones, y la variedad comercial presentó los valores más altos ($L=32.75$, $^{\circ}h=34.13$, $C=26.63$); la única variedad cercana a estos valores fue Jacona (Cuadro 1).

El tiempo de evaluación no tuvo un efecto significativo sobre las variables ($p>0.05$). Las fresas de los cuatro cultivares salieron de las atmósferas controladas, y 2 d después de estar en temperatura ambiente y atmósfera normal se observaron diferencias estadísticas significativas. Así, la AT (0.87 % ácido cítrico) fue mayor en los frutos con 5 d de tratamiento, la relación SST / AT fue mayor a los 3 d (10.41), y el pH de los frutos (4.03). Las fresas sometidas a tiempo de exposición de 5 d presentaron una firmeza mayor (19.39 N), disminuyó la pérdida de peso hasta en 43 %, y el color fue mejor con más brillo ($L=33.33$) e índice de saturación ($C=26.72$) (Cuadro 2). Tales resultados revelaron que el color de los frutos de los cultivares de fresa estudiados, presentaron cambios por efecto de las concentraciones de CO₂ y los tiempos de exposición. Tales cambios se atribuyen a diferencias en la síntesis y degradación de antocianinas, a la modificación del tipo de antocianinas debido a cambios en el pH del fruto y al efecto del tratamiento con altas concentraciones de CO₂ que inducen a cambios en el pH vacuolar (Halcroft y Kader, 1999; Pelayo *et al.*, 2003; Boledon *et al.*, 2010).

El análisis estadístico de la concentración de CO₂ mostró cambios significativos en las fresas de los cuatro cultivares y hubo una mayor acumulación de azúcares totales (8.58 g 100 g⁻¹ fruta) y pH (4.20) con la concentración de 5 % CO₂, pero una mayor pérdida de peso en los frutos (1.4 %). Después de dejar los frutos bajo condiciones normales de temperatura y atmósfera, la concentración más baja de CO₂ dio los mejores resultados: frutos menos ácidos (0.77 % ácido cítrico), mayor contenido de azúcares totales (8.49 g 100 g⁻¹ fruta), fresas con mayor firmeza (19.47 N) y mejor color con mayor brillo ($L=32.1$), color rojo más intenso ($^{\circ}h=34.1$) y menos opaco ($C=26.1$),

fruit saturation index of the fruits decreased under these conditions, and the commercial variety had the highest values ($L=32.75$, $^{\circ}h=34.13$, $C=26.63$); Jacona was the only variety whose values were close to the values of the commercial variety (Table 1).

The evaluation time had no significant effect on the variables ($p>0.05$). The fruits of the four cultivars were taken out the controlled atmospheres and, 2 d after being at room temperature and under normal atmosphere conditions, significant statistical differences were found. Therefore, the AT (0.87 % citric acid) was higher in fruits with 5 d of treatment, the SST/AT ratio was higher at 3 d (10.41), as well as the pH of the fruits (4.03). Strawberries subjected to 5 d exposure time showed greater firmness (19.39 N) and reduced weight loss up to 43 %; they had a better and brighter color ($L=33.33$); and their saturation index was higher ($C=26.72$) (Table 2). These results revealed that the color of the strawberry cultivars studied changed as a result of the effect of CO₂ concentrations, as well as exposure times. Such changes are attributed to the differences in the synthesis and degradation of anthocyanins, the modification of the type of anthocyanins—as a result of changes in the fruit's pH—and the effect of treatments with high CO₂ concentrations of that induce changes in the vacuolar pH (Halcroft and Kader, 1999; Pelayo *et al.*, 2003; Boledon *et al.*, 2010).

The statistical analysis of the CO₂ concentration showed significant changes in the fruits of the four cultivars. There was a higher accumulation of total sugars (8.58 g 100 g⁻¹ fruit), and pH (4.20) with the 5 % concentration of CO₂, but fruits lost more weight (1.4 %). After the fruits were moved normal conditions of temperature and atmosphere, the lowest CO₂ concentration gave the best results: less sour fruits (0.77 % citric acid), higher total sugar content (8.49 g 100 g⁻¹ fruit), fruits with greater firmness (19.47 N), and brighter fruits ($L=32.1$), deeper ($^{\circ}h=34.1$), and less opaque ($C=26.1$) reds; nevertheless, fruit weight loss was lower under the highest concentration (10 % CO₂) (Table 3). Holcroft *et al.* (1999) and Vicente *et al.* (2003) point out that CO₂ enriched atmospheres delay softening during storage conditions, while firmness decreases rapidly when fruits are placed under room temperature and normal atmosphere conditions. Likewise, Harker *et al.* (2000) reported that high CO₂ concentrations

Cuadro 1. Características de calidad del fruto de tres variedades mexicanas y una comercial de fresa sometidas a tratamientos con atmósferas controladas (5 % y 10 % CO₂) a 3 °C más dos días a temperatura ambiente y atmósfera normal.**Table 1. Fruit quality characteristics of three Mexican strawberry varieties, and one commercial variety, subject to treatments with controlled atmospheres (5 % and 10 % CO₂) at 3 °C, plus two days at room temperature and normal atmosphere.**

Variedades	Después de tratamientos										
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	Firmeza (N)	PP (%)
CP-LE7	24.75 a	1.04 ab	7.87 a	7.56 a	4.12 a	8.00 a	32.62 b	32.82 a	29.69 b	22.35 a	1.78 a
Zamorana	25.00 a	1.13 a	7.57 a	6.69 a	4.09 a	7.57 a	32.88 b	32.89 a	29.93 b	20.69 a	0.88 c
Jacona	24.48 a	1.11 a	8.58 a	7.72 a	4.04 a	7.61 a	34.54 a	34.30 a	31.04 ab	20.73 a	1.11 b
Festival	25.25 a	0.99 b	8.41 a	8.49 a	4.20 a	7.93 a	34.37 a	34.21 a	32.33 a	17.51 b	0.93 c
C.V (%)	14.81	3.56	10.46	9.8	2.70	6.45	2.59	4.17	5.97	14.27	23.12

Variedades	Después de dos días al ambiente										
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	Firmeza (N)	PP (%)
CP-LE7	26.01 a	0.83 a	8.01 a	9.65 a	3.95 a	9.02 a	30.89 b	32.56 ab	23.54 b	18.69 ab	19.29 a
Zamorana	22.25 b	0.84 a	8.19 a	9.75 a	3.95 a	7.04 b	30.96 b	31.98 b	24.84 ab	20.04 a	15.23 b
Jacona	22.52 b	0.85 a	8.48 a	9.97 a	3.87 a	7.47 b	32.62 a	34.05 ab	26.02 a	19.17 ab	15.45 b
Festival	21.00 c	0.81 a	8.72 a	10.76 a	4.05 a	7.05 b	32.75 a	34.13 a	26.63 a	17.04 b	19.84 a
C.V (%)	10.79	6.39	5.45	9.46	2.47	16.46	1.35	3.82	4.64	9.42	13.59

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). Acidez titulable (AT), Sólidos solubles totales (SST), Relación SST/AT, Azúcares totales (Az. Tot.), Luminosidad o brillo (L), Índice de saturación (C), Ángulo de tono (°h), Pérdida de peso (PP). ♦ Values with different letters in the same column are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$). Titratable acidity (AT), Total soluble solids (SST), SST/AT ratio, Total sugars (Az. Tot.), Luminosity or brightness (L), Saturation index (C), Hue angle (°h), Weight loss (PP).

Cuadro 2. Características de calidad del fruto de fresa después de tres y cinco días con tratamientos de atmósferas controladas (5 % y 10 % CO₂) a 3 °C más dos días a temperatura ambiente y atmósfera normal.
Table 2. Quality characteristics of strawberry fruit after three and five days with controlled atmosphere treatments (5 % and 10 % CO₂) at 3 °C, plus two days at room temperature and under normal atmosphere conditions.

Tiempo	Después de tratamientos										
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	Firmeza (N)	PP (%)
3 días	24.13 a	1.05 a	8.32 a	7.92 a	4.18 a	7.74 a	33.69 a	33.51 a	30.26 a	19.66 a	1.08 a
5 días	25.61 a	1.09 a	7.89 a	7.24 b	4.06 a	7.55 a	33.51 a	33.58 a	31.23 a	20.94 a	1.26 a
C.V (%)	14.81	3.56	10.46	9.80	2.70	6.45	2.59	4.17	5.97	14.27	23.12
Tiempo	Después de dos días al ambiente										
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	Firmeza (N)	PP (%)
3 días	23.00 a	0.80 b	8.33 a	10.41 a	4.03 a	8.09 a	30.27 b	34.06 a	23.80 b	18.08 b	22.33 a
5 días	22.90 a	0.87 a	8.37 a	9.92 b	3.88 b	7.47 b	33.33 a	32.3 b	26.72 a	19.39 a	12.58 b
C.V (%)	10.79	6.39	5.45	9.46	2.47	16.46	1.35	3.82	4.64	9.42	13.59

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). Acidez titulable (AT), Sólidos solubles totales (SST), Relación SST/AT, Azúcares totales (Az. Tot.), Luminosidad o brillo (L), Índice de saturación (C), Ángulo de tono (°h), Pérdida de peso (PP). ♦ Values with different letters in the same column are statistically different (Tukey, p≤0.05). Titratable acidity (AT), Total soluble solids (SST), SST/AT ratio, Total sugars (Az. Tot.), Luminosity or brightness (L), Saturation index (C), Hue angle (°h), Weight loss (PP).

aunque la pérdida de peso en los frutos fue menor bajo la concentración más alta (10 % CO₂) (Cuadro 3). Holcroft *et al.* (1999) y Vicente *et al.* (2003) señalan que el uso de atmósferas enriquecidas con CO₂ durante el almacenamiento retarda el ablandamiento de los frutos de fresa, aunque al transferir los frutos a condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal, la firmeza disminuye rápido. Asimismo, Harker *et al.* (2000) reportaron el efecto positivo de las altas concentraciones de CO₂ en la reducción de las pérdidas de firmeza en frutos de fresa asociado con cambios en el pH del apoplasto, lo cual promueve la precipitación de las pectinas solubles y mejora la adhesión célula a célula a nivel de la lámina media.

La interacción tiempo*concentración mostró que la combinación de 5 d+10 % CO₂ a la salida del tratamiento y 5 d+5 % CO₂ después de 2 d a temperatura ambiente generaron la mayor acumulación de acetaldehído en los frutos con 26.29 y 24.39 mg 100 g⁻¹ fruta. El contenido de azúcares totales, en cada cultivar, fue menor en los tratamientos con 10 % de CO₂ (Cuadro 4). En función del tiempo de almacenamiento a 3 °C, el contenido de azúcares totales fue significativamente menor en los tratamientos con 10 % de CO₂ en 3 y 5 d. En este sentido, hay disminución del nivel de glucosa, fructosa y azúcares totales por el tratamiento con 19.7 % de CO₂ en frutos de fresa (Pelayo *et al.*, 2003 y 2007), y el contenido de azúcares en los frutos es menor con una concentración mayor de CO₂, por lo que hay un efecto en la acumulación. Sin embargo, el metabolismo relacionado con esta disminución del contenido de azúcares en los frutos de fresa es aún desconocido. Pero hay una hipótesis de que está relacionado con la estimulación de la actividad respiratoria, a nivel de la glucólisis, como respuesta a una condición de estrés de los tejidos impuesta por la alta concentración de CO₂ (Watkins, 2000).

En función del tiempo de almacenamiento, las mayores pérdidas de peso ocurrieron al transferir los frutos a las condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal (23.81 %) después del tratamiento, y estas fueron más altas en los frutos de los tratamientos con 3 d+5 % de CO₂ almacenados a 3 °C, aunque a la salida del tratamiento hubo pérdidas significativas (1.46 %) (Cuadro 4). La interacción tiempo*concentración de CO₂, reveló que la firmeza de los frutos de todos los tratamientos disminuyó significativamente al transferir los frutos a condiciones normales de temperatura y atmósfera; el tratamiento

have a positive effect on the reduction of firmness loss in strawberry fruits associated with changes in the apoplast's pH. This promotes the precipitation of soluble pectins and improves the cell-to-cell adhesion at the middle-layer level.

The time*concentration interaction showed that the combination of 5 d+10 % CO₂ at the end of the treatment, and 5 d+5 % CO₂ plus 2 d at room temperature caused greater acetaldehyde content in the fruits (26.29 and 24.39 mg 100 g⁻¹ fruit). In each cultivar, the total sugar content was lower in the treatments with 10 % CO₂ (Table 4). Depending on how long the fruit was stored at 3 °C, the total sugar content was significantly lower in the treatments with 10 % CO₂ in 3 and 5 d. In this respect, the level of glucose, fructose, and total sugars in strawberry fruits decreases because of the 19.7 % of CO₂ treatment (Pelayo *et al.*, 2003 and 2007); meanwhile, fruit sugar content is lower when stored under a higher CO₂ concentration. Therefore, there is an effect on the accumulation. However, the metabolism related to this decrease in the sugar content of strawberries is still unknown. Nevertheless, Watkins (2000) has set forth the hypothesis that the stimulation of the respiratory activity (at glycolysis level) responds to a tissue stress condition imposed by the high CO₂ concentration.

Depending on the storage time, the greater weight losses occurred after the refrigeration and CO₂ treatment when the fruits were stored at room temperature and normal atmosphere conditions. The greatest weight loss occurred in the fruits under 3 d+5 % of CO₂ treatment stored at 3 °C (23.81 %), even though, there were already significant losses (1.46 %) at the end of the treatment (Table 4). The time*concentration of CO₂ interaction revealed that the fruit firmness in all the treatments decreased significantly when the fruits were placed under room temperature and atmosphere conditions; the treatment that kept the highest fruit firmness was 5 d+5 % CO₂, at the end of the treatment (23.24 N), as well as 2 d later (20.81 N).

According to the time*concentration of CO₂ interaction, the color of the fruits stored under the 5 d+10 % CO₂ treatment at 3 °C had the highest parameters at the end of treatment (L=33.9, °h=35.33, C=31.97). When fruits were put under room temperature and normal atmosphere conditions resulted in significant losses of L (darker),

Cuadro 3. Características de calidad del fruto de fresa almacenado en atmósferas controladas con dos concentraciones de CO₂ (5 % y 10 %) a 3 °C más dos días a temperatura ambiente y atmósfera normal.

Table 3. Fruit quality characteristics of strawberry fruit stored under controlled atmospheres, with two concentrations of CO₂ (5 % and 10 % CO₂) at 3 °C, plus two days at room temperature and under normal atmosphere conditions.

Concentración	Después de tratamientos									
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	PP (%)
5 % CO ₂	24.6 a	1.05 a	7.86 a	7.48 a	4.20 a	8.58 a	33.77 a	33.11 a	30.11 a	21.09 a
10 % CO ₂	25.1 a	1.09 a	8.34 a	7.65 a	4.02 b	6.98 b	33.44 a	33.99 a	31.38 a	19.55 a
C.V (%)	14.81	3.56	10.46	9.8	2.7	6.45	2.59	4.17	5.97	23.12

Concentración	Después de dos días al ambiente									
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	PP (%)
5 % CO ₂	21.96 a	0.77 b	8.20 a	10.64 a	3.98 a	8.49 a	32.19 a	34.19 a	26.11 a	19.47 a
10 % CO ₂	23.91 a	0.89 a	8.49 a	9.53 a	3.93 a	6.81 b	31.43 b	32.16 b	24.40 b	17.99 b
C.V (%)	10.79	6.39	5.45	9.46	2.47	16.46	1.35	3.82	4.64	13.59

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). Acidez titulable (AT), Sólidos solubles Totales (SST), Relación SST/AT, Azúcares totales (Az. Tot.), Luminosidad o brillo (L), Índice de saturación (C), Ángulo de tono (°h), Pérdida de peso (PP). ♦ Values with different letters in the same column are statistically different (Tukey, p≤0.05). Titratable acidity (AT), Total soluble solids (SST), SST/AT ratio, Total sugars (Az. Tot.), Luminosity or brightness (L), Saturation index (C), Hue angle (°h), Weight loss (PP).

Cuadro 4. Características de calidad del fruto de tres cultivares mexicanos de fresa y una comercial sometidas a tratamientos con atmósferas controladas analizando la interacción entre el tiempo (3 y 5 d a 3° C) y la concentración de CO₂ (5 % y 10 %).

Table 4. Fruit quality characteristics of three Mexican strawberry cultivars, and one commercial cultivar, subjected to controlled atmosphere treatments, analyzing the interaction between time (3 and 5 d at 3° C) and concentration of CO₂ (5% and 10%).

Interacción días vs. CO ₂	Después de tratamientos									
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	PP (%)
3+5%	22.98 b	0.74 b	8.22 a	8.59 a	4.02 b	8.71 a	34.5 a	34.38 a	29.73 b	1.46 a
3+10%	25.27 a	0.85 ab	8.41 a	8.49 a	4.34 a	7.47 b	32.89 b	32.65 b	30.79 ab	0.72 b
5+5%	26.29 a	0.80 ab	7.5 a	7.54 a	4.02 b	8.44 b	33.04 b	31.86 b	30.48 ab	1.34 ab
5+10 %	24.92 a	0.93 a	8.28 a	8.11 a	4.07 b	6.47 c	33.9 ab	35.33 a	31.97 a	1.18 ab
C.V (%)	14.81	6.39	10.46	9.8	2.7	6.45	2.59	4.17	5.97	23.12

Interacción días vs. CO ₂	Después de dos días al ambiente									
	Acetaldehído (mg 100 g ⁻¹ fruta)	AT (% Ác. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot. (g 100 g ⁻¹ fruta)	L	° h	C	PP (%)
3+5%	22.57 ab	1.06 ab	8.12 a	7.85 a	4.00 ab	8.86 a	29.87 c	34.02 a	22.48 b	23.81 a
3+10%	23.43 ab	1.03 b	8.53 a	8.46 a	4.06 a	6.62 c	30.67 bc	34.10 a	25.11 b	20.86 b
5+5%	21.36 b	1.04 b	8.28 a	8.17 a	3.97 ab	8.11 ab	34.5 a	34.38 a	29.74 a	15.73 c
5+10 %	24.39 a	1.14 a	8.46 a	7.54 a	3.88 b	7.00 bc	32.18 b	30.21 b	23.69 b	9.44 d
C.V (%)	10.79	3.56	5.45	9.46	2.47	16.46	1.35	3.82	4.64	13.59

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). Acidez titulable (AT), Sólidos solubles totales (SST), Relación SST/AT, Azúcares Totales (Az. Tot.), Luminosidad o brillo (L), Índice de saturación (C), Ángulo de tono (°h), Pérdida de peso (PP). ♦ Values with different letters in the same column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). Titratable acidity (AT), Total soluble solids (SST), SST/AT ratio, Total sugars (Az. Tot.), Luminosity or brightness (L), Saturation index (C), Hue angle (°h), Weight loss (PP).

que mantuvo la firmeza más alta en los frutos fue 5 d+5 % CO₂ a la salida del tratamiento (23.24 N) y 2 d después (20.81 N).

De acuerdo con la interacción tiempo * concentración de CO₂, el color de los frutos que salieron del tratamiento con 5 d+10 % CO₂ a 3 °C presentaron los parámetros más altos (L=33.9, °h=35.33, C=31.97). Al transferir los frutos a temperatura ambiente y atmósfera normal, hubo pérdidas significativas de los valores L (más oscuro), C (menos brillo) y °h, indicando una tonalidad más roja en la fresa (Cuadro 4).

El porcentaje de pudrición disminuyó considerablemente en una atmósfera controlada con concentración de 10 % CO₂+3 °C, porque todas las variedades presentaron niveles menores de 4 %. El tratamiento con 5 % CO₂+3 °C también disminuyó la presencia del patógeno en los frutos, pero no fue tan significativo (Figura 1). De acuerdo con Wszelaki *et al.* (2003), una concentración alta de CO₂ suprime efectivamente el crecimiento del micelio, la germinación de esporas y la elongación del tubo germinativo de *Botrytis cinerea* y es fungistática a la mayoría de los hongos. Sin embargo, una vez que la fruta se remueve de la atmósfera controlada ya no hay protección y el crecimiento del hongo se puede reanudar; además, ellos concluyeron que la aplicación continua de atmósferas controladas con 15 kPa CO₂ (14.8 % CO₂) durante 14 d fue el método que mejor

C (less brightness) and °h values, indicating a deeper red shade in the strawberry fruits (Table 4).

In a 10 % CO₂+3 °C controlled atmosphere, the rot index decreased considerably, because all the varieties had levels lower than 4 %. The 5 % CO₂+3 °C treatment also decreased the presence of the pathogen in the fruits, but it was not that significant (Figure 1). According to Wszelaki *et al.* (2003), a high CO₂ concentration effectively suppresses mycelial growth, spore germination, and elongation of the *Botrytis cinerea* germ tube; it is also fungistatic to most fungi. However, once the fruit is removed from the controlled atmosphere, it is no longer protected, and the fungus can start to grow again. In addition, they concluded that the continuous application of controlled atmospheres with 15 kPa CO₂ (14.8 % CO₂) during 14 d was the method that best controlled the development of *Botrytis cinerea* in the fruits. In addition, Piña-Dumoulin *et al.* (2001) also found that controlled atmospheres with 15 % O₂+20 % CO₂ significantly retarded fungus growth in blackberries stored at 2 °C.

CONCLUSIONS

The Mexican cultivars (CP-LE7, Zamorana, and Jacona) had firmer fruits compared to the commercial cultivar, which provides them with greater resistance

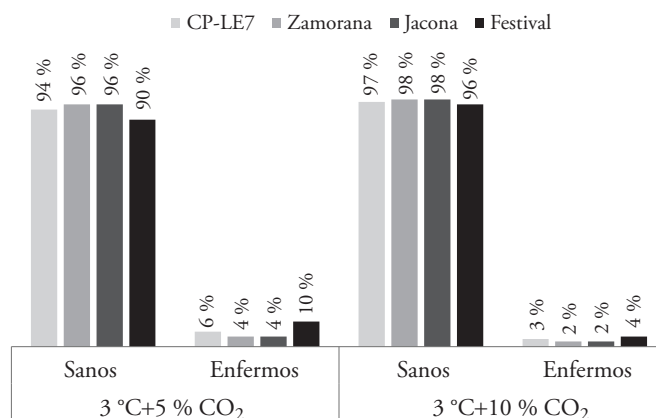


Figura 1. Porcentaje de pudrición por *Botrytis cinerea* en tres variedades mexicanas de fresa y una comercial sometidas a dos tratamientos con atmósferas controladas con 3 °C+5 % CO₂ y 3 °C+10 % CO₂ durante 5 días.

Figure 1. Rot percentage by *Botrytis cinerea* in three Mexican strawberry varieties, and one commercial variety, subject to two controlled atmosphere treatments with 3 °C+5 % CO₂, and 3 °C+10 % CO₂ for 5 days.

controló el desarrollo de *Botrytis cinerea* en los frutos. Piña-Dumoulín *et al.* (2001) encontraron también que atmósferas controladas con 15 % O₂+20 % CO₂ en zarzamora almacenados a 2 °C retardó el crecimiento del hongo significativamente.

CONCLUSIONES

Los cultivares mexicanos (CP-LE7, Zamorana y Jacona) presentaron frutos más firmes con respecto al comercial, lo que les confiere resistencia durante su manipulación después de la cosecha. Cada cultivar presentó un atributo sobresaliente: para CP-LE7 en el contenido de azúcares totales, Zamorana mostró menor sensibilidad a las pérdidas de peso y Jacona frutos rojos brillantes. El porcentaje de pudriciones fue controlado con las dos atmósferas controladas aplicadas en los cuatro cultivares. La concentración con un mejor efecto en el control de *Botrytis cinerea* es una atmósfera controlada con 10 % CO₂, mientras que los mejores resultados al mantener la calidad de los frutos es la atmósfera con 5 % CO₂.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Vol II. Association of Official Analytical Chemistries, Washington, D.C. 918-919.
- Anderson, B. A., A. Sarkar, J. F. Thompson, and R. P. Singh. 2004. Commercial-Scala forced-air cooling of packaged strawberries. *Am. Soc. Agric. Eng.* 47: 183-190.
- Bodelón, O. G., M. Blanch, M. T. Sánchez-Ballesta, M. I. Escribano, and C. Merodio. 2010. The effects of high CO₂ levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low non-freezing temperature. *Food Chem.* 122: 673-678.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. (Consulta: octubre 2016).
- Harker R. F., J. H. Elgar, C. B. Watkins, P. J. Jackson, and I. C. Hallett. 2000. Physical and mechanical changes in strawberries after high carbon dioxide treatments. *Postharvest. Biol. Tec.* 19: 139-146.
- Holcroft, D. H., and A. A. Kader. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic metabolism may affect during the post-harvest manipulation. Each cultivar presented at least one outstanding attribute: CP-LE7, total sugar content; Zamorana, less sensitivity to weight loss; and Jacona, bright red fruits. The rot percentage was controlled by the two controlled atmospheres applied in the four cultivars. A controlled atmosphere with 10 % CO₂ had greater control over *Botrytis cinerea*, while an atmosphere with 5 % CO₂ had best results in keeping fruit quality.
- End of the English version—
- color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biol. Tec.* 176: 19-32.
- Ke, D., L. M. Goodstein, M. O'Mahony, and A. A. Kader. 1991. Effects of short-term exposure to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. *J. Food Sci.* 56: 50-54.
- Nunes, M. C. N., J. K. Brecht., A. M. M. B. Morais, and S. A. Sargent. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. *Postharvest Biol. Tec.* 6: 17-28.
- Pelayo, C., S. E. Ebeler, and A. A. Kader. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air+20kPa CO₂. *Postharvest Biol. Tec.* 27: 171-183.
- Pelayo-Zaldívar, C., J. B. Abda, S. E. Ebeler, and A. A. Kader. 2007. Quality and chemical changes associated with flavor of 'Camarosa' strawberries is response a CO₂-enriched atmosphere. *Hortsciense* 42: 299-303.
- Piña-Dumoulín, G., V. C. Saucedo, V. E. Ayala, and A. L. Muratalla. 2001. Atmósferas controladas para combatir daños postcosecha en zarzamora (*Rubus sp.*). *Rev. Fac. Agron.* 18: 87-105.
- Tudela, J. A., R. Villaexcusa, F. Artes-Hdez, and F. Artes. 2003. High carbon dioxide during cold storage for keeping strawberry quality. *Acta Hortic.* 600: 201-204.
- Watkins, C. B., J. E. Manzano-Mendez, J. F. Nock, J. J. Zhang, and K. E. Maloney. 2000. Cultivar variation in response of strawberry fruit to high carbon dioxide treatments. *J. Sci. Food. Agr.* 79: 886-890.
- Wszelaki, A. L., and E. J. Mitcham. 2003. Effect of combinations of hot water dips, biological control and controlled atmospheres for control gray mold on harvested strawberries. *Postharvest Biol. Tec.* 27: 255-264.