

# Behavior of “tomatillo” husk tomato fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.) with and without calyx in a modified atmosphere

Comportamiento de frutos de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) con cáliz y sin cáliz en atmósfera modificada

Nilfra Cecilia Flores-Flores<sup>1</sup>; Anabel Gerónimo-Cruz<sup>1</sup>; Salvador Valle-Guadarrama<sup>1\*</sup>; Teresa Monroy-Gutiérrez<sup>1</sup>; Adalberto Gómez-Cruz<sup>1</sup>; Irán Alia-Tejaca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.

Correo-e: svalleg@taurus.chapingo.mx (\*Autor para correspondencia).

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001, Chamilpa, Morelos, C.P. 62209, MÉXICO.

## Abstract

The behavior of untouched (with calyx) and removed husk (without calyx) “tomatillo” husk tomato fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.) was evaluated in postharvest, for four weeks, at 20 °C, in modified atmosphere technology (MAP), with plastic films brands Bol Rol® (BR; 25 cm × 38 cm, 16.8 mm thick) and Ziploc® (ZP; 27 cm × 28 cm, 52.2 mm thick). The removal of calyx caused a reduction in the rate of O<sub>2</sub> consumption, loss of water and loss of firmness; for that reason, the removal of husk was considered to be a beneficial practice. There was no significant effect in the total soluble solids contents, nor the acidity, sugars or color attributes, which was also considered to be beneficial since the parameters that define the quality of the fruit were not altered. By using plastic bags, the O<sub>2</sub> concentration was reduced and the CO<sub>2</sub> concentration increased in the fruit environment. The Ziploc® bags allowed higher values of firmness; thus, they were considered better than the Bol Rol® ones to implement MAP. The removal husk reduced the risk of fermentative metabolism and for a 20 °C condition it is recommended handling tomatillo, husk tomato with removed husk for 13 days in modified atmosphere.

**Keywords:** respiration rate, non-climacteric fruit, anaerobic metabolites.

## Resumen

Se evaluó el comportamiento de frutos de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) intactos (con cáliz) y descascarados (sin cáliz) en postcosecha, durante cuatro semanas, a 20 °C, en una tecnología de atmósfera modificada (AM), con películas plásticas marca Bol Rol® (BR; 25 cm × 38 cm y espesor de 16.8 mm) y Ziploc® (ZP; 27 cm × 28 cm y espesor de 52.2 mm). La eliminación del cáliz causó reducción en la velocidad de consumo de O<sub>2</sub>, pérdida de agua y pérdida de firmeza; por ello, se consideró al descascarado como una práctica benéfica. No hubo efecto significativo en los contenidos de sólidos solubles totales, acidez, azúcares, ni en atributos de color, lo que también se consideró benéfico, pues no se alteraron los parámetros que definen la calidad del fruto. Con el manejo en bolsas plásticas se redujo la concentración de O<sub>2</sub> y se elevó la de CO<sub>2</sub> en el entorno de los frutos. Las bolsas Ziploc® permitieron mayores valores de firmeza, por lo que se consideraron mejores que las Bol Rol® para implementar una AM. El descascarado redujo el riesgo de un metabolismo fermentativo y, para una condición de 20 °C, se recomienda el manejo de frutos de tomatillo en forma descascarada, por 13 días en atmósfera modificada.

**Palabras clave:** tasa respiratoria, frutos no climatéricos, metabolitos anaeróbicos.

## Introduction

"Tomatillo" husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) is an important vegetable in Mexico, where holds the fifth place of cultivated area (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del Castillo, & Magaña-Lira, 2014). Due to that, progress has been made in the research for genetic improvement (Peña-Lomelí et al., 2002, 2004, 2008; Ramírez-Godina et al., 2013; Santiaguillo-Hernández, Cervantes-Santana, & Peña-Lomelí, 2004) and the recognition of procedures to improve the production (Magdaleno-Villar et al., 2006; Peña-Lomelí et al., 2014; Pérez-Moreno, Castañeda-Cabrera, Ramos-Tapia, & Tafoya-Razo, 2014; Ramos-Lara, Alcántar-González, Galvis-Spinola, Peña-Lomelí, & Martínez-Garza, 2002).

The fruit of some varieties of this species has been evaluated in terms of its antioxidant potential, based on that it has been recommend to include it in fresh foods (González-Mendoza et al., 2011). Moreover, it has been determined that it follows a respiration pattern typical of non-climacteric fruit during the ripening stage (Cantwell, Flores-Minutti, & Trejo-González, 1992), which is little reactive to the presence of ethylene and can be preserved up to three weeks if stored within 7 and 13 °C (Cantwell, 2002). However, in Mexico there are many areas where refrigeration is not used as a preservation method due to the lack of infrastructure. All of the above suggests the exploration of other methods such as controlled and modified atmospheres where O<sub>2</sub> is reduced and CO<sub>2</sub> is increased in the fruit environment, which might cause alteration in the different physiological process of the product and life-time extension of postharvest (Kader & Saltveit, 2003). In regard to that, Cantwell et al. (1992) pointed out that the existence of calyx or husk limits handling the fruit after harvest since it might promote microbial contamination if sanitation practices are not applied carefully. From this, Cruz-Álvarez, Martínez-Damián, Rodríguez-Pérez, Colinas-León, and Moreno-Pérez (2012) evaluated the behavior of the fruit with and without calyx so they determined that quality attributes are not affected by the absence of such anatomical structure.

On the other hand, Valle-Guadarrama, Gómez-Cruz, Cruz-Cruz, and Chan-Chi (2009) determined that the tomatillo husk tomato fruit respiration activity can be modified in regard of the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations of the environment which has suggested that the use of modified atmosphere (AMP) may cause lengthening of the shelf life due to respiration decrease. In such context this work was carried out having the objective of evaluating the behavior of tomatillo husk tomato fruit with and without calyx in modified atmosphere (AMP). During the development of the work, a temperature of 20 °C was selected with the purpose of

## Introducción

El tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una hortaliza importante en México, donde ocupa el quinto lugar en superficie cultivada (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del Castillo, & Magaña-Lira, 2014). Debido a lo anterior, se ha avanzado en investigación para mejoramiento genético (Peña-Lomelí et al., 2002, 2004, 2008; Ramírez-Godina et al., 2013; Santiaguillo-Hernández, Cervantes-Santana, & Peña-Lomelí, 2004) y en el reconocimiento de procedimientos para mejorar la producción (Magdaleno-Villar et al., 2006; Peña-Lomelí et al., 2014; Pérez-Moreno, Castañeda-Cabrera, Ramos-Tapia, & Tafoya-Razo, 2014; Ramos-Lara, Alcántar-González, Galvis-Spinola, Peña-Lomelí, & Martínez-Garza, 2002).

El fruto de algunas variedades de esta especie ha sido evaluado en términos de su potencial antioxidante, y con base en ello su incorporación en alimentos frescos ha sido recomendado (González-Mendoza et al., 2011). Asimismo, se ha determinado que sigue un patrón respiratorio típico de frutos no climatéricos durante la maduración (Cantwell, Flores-Minutti, & Trejo-González, 1992), que es poco sensible a la presencia de etileno y que puede conservarse hasta por tres semanas si se almacena entre 7 y 13 °C (Cantwell, 2002). Sin embargo, en México hay muchas regiones donde la refrigeración no se usa como medio de conservación debido a la falta de infraestructura. Lo anterior propone la exploración de otros métodos, como las atmósferas controladas y modificadas, donde se reduce el O<sub>2</sub> y se eleva el CO<sub>2</sub> en el entorno de los frutos, lo que puede causar la alteración de diversos procesos fisiológicos del producto y el alargamiento de la vida postcosecha (Kader & Saltveit, 2003). A este respecto, Cantwell et al. (1992) señalaron que la presencia del cáliz, o cáscara, constituye un factor limitante en el manejo después de la cosecha, ya que puede favorecer la contaminación microbiana si no se aplican cuidadosas prácticas de sanitización. Derivado de esto, Cruz-Álvarez, Martínez-Damián, Rodríguez-Pérez, Colinas-León, y Moreno-Pérez (2012) evaluaron el comportamiento del fruto con y sin cáliz, con lo que determinaron que la ausencia de esta estructura anatómica no afecta los atributos de calidad.

Por otro lado, Valle-Guadarrama, Gómez-Cruz, Cruz-Cruz, y Chan-Chi (2009) determinaron que la actividad respiratoria del fruto de tomatillo se modifica en función de las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el entorno; lo cual ha sugerido que el uso de una técnica de atmósfera modificada (AM) puede causar alargamiento de la vida de anaquel debido a la disminución de la respiración. En tal contexto, el presente trabajo se hizo con el objetivo de evaluar el comportamiento de frutos de tomatillo con y sin cáliz en una tecnología de AM.

observing, in a careless way of refrigeration, the effect that the use of this technique had on the fruit behavior in postharvest.

## Materials and methods

### Plant material

One hundred kilograms of tomatillo husk tomato fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.) cv. "Diamante" were used, they were harvested in Coatlán del Río, Morelos, Mexico (18° 45' 05" NL, 99° 26' 8" WL, at an altitude of 1,010 m). The harvest was done when the fruit was completely ripened which was the same condition where the calyx was filled (Cantwell et al., 1992). The material was transported by land within the five following hours to the place where the experimentation took place, Texcoco de Mora, Mexico (19° 31' 46" NL, 98° 53' 48" WL, at an altitude of 2,247 m), where it was subjected to 5 min immersion of 500 ppm sodium hypochlorite solution.

### Experimental organization

The behavior of tomatillo husk tomato fruit, with and without calyx, was evaluated for four weeks at 20 °C in natural air and MAP with plastic bags of commercial brands Bol Rol® (BR; 25 cm × 38 cm, 16.8 mm thick) and Ziploc® (ZP; 27 cm × 28 cm, 52.2 mm thick). The first ones are low density polyethylene bags that according to Mangaraj, Goswami, and Mahajan (2009 have permeability), ( $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ) to O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> of  $2.8 \times 10^{-17}$  and  $17.3 \times 10^{-17}$ , at 25 °C, respectively. The second ones, although this type of information is not reported, it has been pointed out that the materials show low gas permeability (Dongguan Wanhao Package Co., 2015).

There were formed two hundred batches of 0.5 kg each from which 100 were kept untouched (with calyx) and the rest of the fruit had the calyx removed with a knife. From the first ones 33 were packed in BR bags, other 33 in ZP bags and 34 were left unpacked, exposed to normal air. The removed husk batches went through the same procedure. At the end of this procedure, all of the units were put in an isolated room at 20 °C. A batch of 0.5 kg packed in a plastic bag and kept in air was taken as experimental unit (EU). The day that this procedure was carried out the time was considered as zero time. On day one, (the day after the installation) three EU were taken away from each treatment. At that moment of being taken away the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations in the environment of the fruit were evaluated in each EU and the weight, color, respiration activity, firmness, total soluble solids, acidity, sugar content, (reducing and total sugars) and the acetaldehyde and ethanol were measured. This procedure was repeated on days 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, and 28.

Durante el desarrollo, se eligió la temperatura de 20 °C con el propósito de observar, en forma deslindada de la refrigeración, el efecto del uso de esta técnica sobre el comportamiento de los frutos en postcosecha.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se utilizaron 100 kg de frutos de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) cv. 'Diamante', cosechados en Coatlán del Río, Morelos, México (18° 45' 05" LN y 99° 26' 8" LO, a 1,010 m de altitud). La cosecha se realizó cuando los frutos estaban completamente maduros, lo que correspondió al estado en que el cáliz estaba totalmente lleno (Cantwell et al., 1992). El material se trasladó por tierra dentro de las cinco horas siguientes al lugar de experimentación, en Texcoco de Mora, México (19° 31' 46" LN, 98° 53' 48" LO, a 2,247 m de altitud), donde se sometió a inmersión en solución de hipoclorito de sodio a 500 ppm por 5 min.

### Organización experimental

Se evaluó el comportamiento de frutos de tomatillo con y sin cáliz durante cuatro semanas a 20 °C, en aire natural y en AM con bolsas plásticas de las marcas comerciales Bol Rol® (BR; 25 cm × 38 cm y espesor de 16.8 mm) y Ziploc® (ZP; 27 cm × 28 cm y espesor de 52.2 mm). En el primer caso se trata de bolsas de polietileno de baja densidad, que según Mangaraj, Goswami, y Mahajan (2009), tienen permeabilidad ( $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ) a O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> de  $2.8 \times 10^{-17}$  y  $17.3 \times 10^{-17}$ , respectivamente, a 25 °C. En el segundo caso, aunque este tipo de información no está reportada, se ha señalado que los materiales exhiben baja permeabilidad a gases (Dongguan Wanhao Package Co., 2015).

Se formaron 200 lotes de 0.5 kg cada uno; de los cuales 100 se mantuvieron intactos (con cáliz) y al resto de los frutos se les retiró el cáliz con un cuchillo. De los primeros se envasaron 33 en bolsas BR, otros 33 en bolsas ZP y 34 se dejaron sin envasar, expuestos al aire normal. Con los lotes de frutos descascarados se procedió de la misma manera. Al término de este proceso, todas las unidades se colocaron en un cuarto aislado a 20 °C. Se tomó como unidad experimental (UE) un lote de 0.5 kg envasado en bolsa plástica o mantenido en aire. El día que se realizó este procedimiento se consideró como tiempo cero. En el día uno (día posterior a la instalación) se retiraron tres UE de cada tratamiento. Al momento del retiro, en cada UE se evaluó concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el entorno de los frutos, y en éstos se midió peso, color, actividad respiratoria, firmeza, sólidos solubles totales, acidez, contenido de azúcares (reductores y totales) y contenido de acetaldehído y etanol. Este procedimiento se repitió los días 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 y 28.

## Response variables

In order to measure the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentration in the environment of the fruit, an open 4 mL tube (Vacutainer®, Becton Dickinson, USA) along with a rubber stopper was placed inside each package. When the EU was taken away from storage the tube was closed; this way, a sample of the internal atmosphere was taken from such package. In the case of the units exposed to natural air, the tube was kept over the batch until it was taken away and then the sampling element was closed. Later, the content from all the groups was evaluated with a gas chromatograph (Varian Star 3400 CX, USA), equipped with a capillary column Chrompack® type poraplot Q, thermal conductivity detector (TCD) and flame ionization detector (FID). The column, injector and detector temperatures were 80, 150, and 170 °C, respectively. A gauge pressure of 158.5 kPa was reached in the column. As an auxiliary for the O<sub>2</sub> determination a 2.01 % concentration primary standard (Praxair de México, S.A. de C.V.) was used.

It was built a curve type for CO<sub>2</sub> by diluting high purity (99.8 %; Praxair de México S.A. de C.V.) in measured volumes of air to form mixtures in the range of 0.03 to 23 %. The respiration rate was measured with a static method (Hernández-Muñoz, Almenar, del Valle, Velez, & Gavara, 2008). The fruit of each EU was placed for 1h in a 3.2 L, CO<sub>2</sub> free container and after that time a 4 mL sample was taken from it. The sample was placed in a plastic vacuum tube (Vacutainer®, Becton Dickinson, USA), and afterwards evaluated with a gas chromatography. Later, by considering the resulting concentrations along with the fruit weight and the unoccupied volume in the container, the respiration rate calculation was done in mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>.

For the acetaldehyde and ethanol content, the Davis and Chase (1969) headspace method was used. From the pulp of 10 pieces of fruit of each EU 10 g were sampled and the samples were placed together in a 37 mL vial. All of the vials were placed at -20 °C until the moment of its evaluation which was also made with the gas chromatography. In this case the equipment worked at temperatures of 150, 170 and 170 °C in the column, injector and detector, respectively. In order to help out on the quantities determination, reference curves were prepared from mixtures prepared with concentrations of this compounds at a range of 0.20 to 1 mg·100 mL<sup>-1</sup>. On the basis of stoichiometry of ethanol fermentation reactions (Taiz & Zeiger, 2006), the molar production of acetaldehyde and ethanol was added and expressed as whole as content from metabolites of the anaerobiosis μmol·100 mL<sup>-1</sup>.

The weight was obtained with a top loading balance (0.1 g precision; Ohaus, USA), and the accumulated

## Variabes respuesta

Para medir concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el entorno de los frutos, se colocó en el interior de cada envase un tubo de 4 mL (Vacutainer®, Becton Dickinson, USA) abierto, junto con un tapón de hule. Cuando la UE se retiró del almacén el tubo se cerró; de esta manera se colectó una muestra de la atmósfera interna de dicho envase. En el caso de unidades expuestas al aire natural, el tubo se mantuvo encima del lote hasta que éste fue retirado y entonces el elemento de muestreo se cerró. Posteriormente, el contenido de todos los tubos fue evaluado con un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400 CX, USA), equipado con columna capilar Chrompack® tipo poraplot Q, detector por conductividad térmica (TCD) y detector por ionización de flama (FID). Las temperaturas de la columna, inyector y detectores fueron 80, 150 y 170 °C, respectivamente. En la columna se tuvo presión manométrica de 158.5 kPa. Como auxilio a la determinación de O<sub>2</sub> se usó un estándar primario con 2.01 % de concentración (Praxair de México, S.A. de C.V.).

Para CO<sub>2</sub> se construyó una curva tipo, diluyendo CO<sub>2</sub> de alta pureza (99.8 %; Praxair de México S.A. de C.V.) en volúmenes medidos de aire, para formar mezclas en el rango de 0.03 a 23 %. La tasa respiratoria se midió con un método estático (Hernández-Muñoz, Almenar, del Valle, Velez, & Gavara, 2008). Los frutos de cada UE se colocaron por 1 h en un recipiente de 3.2 L, libre de CO<sub>2</sub>, y al cabo de este tiempo se tomó una muestra de 4 mL del contenido; la cual se guardó en un tubo de plástico al vacío (Vacutainer®, Becton Dickinson, USA), y posteriormente se evaluó mediante el equipo de cromatografía de gases. Después, al considerar la concentración resultante junto con el peso de los frutos y el volumen libre del recipiente, se realizó el cálculo de la tasa respiratoria en mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>.

Para el contenido de acetaldehído y etanol, se usó el método del espacio de cabeza de Davis y Chase (1969). De la pulpa de 10 frutos de cada UE se muestrearon 10 g, y las muestras se colocaron juntas en un vial de 37 mL. Todos los viales se colocaron en -20 °C hasta el momento de su evaluación; lo cual se hizo también con cromatografía de gases. En este caso, el equipo operó a temperaturas de 150, 170 y 170 °C en la columna, inyector y detectores, respectivamente. Para auxiliar en la determinación de las cantidades, se prepararon curvas de referencia a partir de mezclas preparadas con concentraciones de estos compuestos en el rango de 0.20 a 1 mg·100 mL<sup>-1</sup>. Con base en la estequiometría de las reacciones de fermentación alcohólica (Taiz & Zeiger, 2006), las producciones molares de acetaldehído y etanol se sumaron y se expresaron en conjunto como contenido de metabolitos de la anaerobiosis en μmol·100 mL<sup>-1</sup>.



weight loss determined in percentage of the weight on day zero. The firmness was measured in two points of the equatorial section of the fruit and both determinations were averaged together and the result was expressed in Newtons (N). For that purpose, a texture analyzer (TA-TX2i, Stable Microsystems, UK) was used on a routine of application of force in compression with a cone-shaped attachment of 2.6 cm base and 75° angle which deformed the tissue up to 4 mm deformation at a speed of 4 mm·s<sup>-1</sup>. The color was evaluated with a colorimeter Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA), and was expressed in hue angle, chromaticity and luminance.

The chemical variables were obtained through described procedures by the AOAC (Horwitz, 1980). The total soluble solids (TSS) were measured with a handheld refractometer Abbe (American Optical, USA), and were expressed in °Brix. The acidity was determined in 10 mL of fresh juice by means of titration with NaOH 0.1 N, and for sugars the Lane-Eynon method was used by means of digestion with HCl and titration with NaOH 0.1 N.

#### Data analysis

For the data analysis a completely different design was used entirely at random with other three sources of variation: type of fruit (untouched or removed husk), the environment (natural air, MAP in BR and MAP in ZP) and time. A variance analysis complemented with Tukey's comparison of means samples was done ( $P \leq 0.05$ ), using Statistical Analysis System, ver. 8.0 (SAS, 1999).

#### Results and discussion

##### Concentration of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in the environment of the fruit

Inside the plastic containers (BR and ZP) the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations were modified in a significant way ( $P \leq 0.05$ ), in comparison with the treatments handled in natural air. Figure 1 shows concentrations found in the bags after they were taken out from storage. The untouched fruit showed a major decrease ( $P \leq 0.05$ ) in O<sub>2</sub> concentration, inside the plastic containers (2.22 % in average), than the removed husk ones (6.04 % average). This suggests that the removed husk contributed relevantly to gas consumption. In addition, for this gas there was no difference by the type of container (BR or ZP); for which it might be considered that the respiration activity caused a more important effect than the permeation phenomenon on the change of concentrations inside the bags. On the other side, during the experimental phase destructive testing was used so that the measurements do not correspond to the same EU during the complete storage process. This

El peso se obtuvo con balanza granataria (precisión de 0.1 g; Ohaus, USA), y la pérdida acumulada de peso se determinó en porcentaje del valor del día cero. La firmeza se midió en dos puntos de la zona ecuatorial de los frutos, y ambas determinaciones se promediaron y el resultado se expresó en Newtons (N). Para ello se utilizó un equipo analizador de textura (TA-TX2i, Stable Microsystems, UK), con una rutina de aplicación de fuerza en compresión con aditamento cónico de 2.6 cm de base y ángulo de 75°; el cual deformó el tejido hasta una profundidad de 4 mm a velocidad de 4 mm·s<sup>-1</sup>. El color se evaluó con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA), y fue expresado en ángulo de matiz, cromaticidad y luminosidad.

Las variables químicas se obtuvieron mediante los procedimientos descritos por la AOAC (Horwitz, 1980). Los sólidos solubles totales (SST) se midieron con un refractómetro portátil Abbe (American Optical, USA), y se expresaron en °Brix. La acidez se determinó en 10 mL de jugo fresco mediante titulación con NaOH 0.1 N, y para los azúcares se utilizó el método de Lane-Eynon, mediante digestión con HCl y titulación con NaOH 0.1 N.

#### Análisis de datos

Para el análisis de los datos se empleó un diseño completamente al azar con tres fuentes de variación: el tipo de fruto (intacto o descascarado), el ambiente (aire natural, AM en BR y AM en ZP) y el tiempo. Se realizó un análisis de varianza complementado con pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), mediante el paquete Statistical Analysis System, ver. 8.0 (SAS, 1999).

#### Resultados y discusión

##### Concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el entorno de los frutos

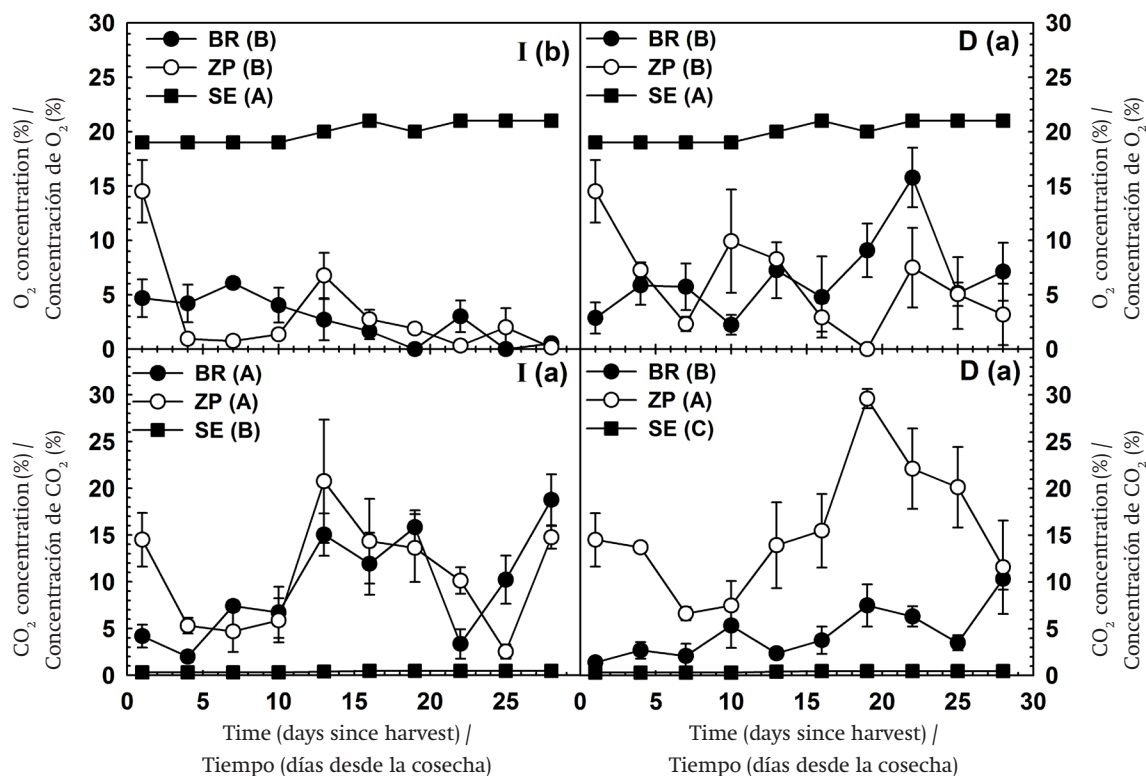
Dentro de los envases plásticos (BR y ZP) las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se modificaron en forma significativa ( $P \leq 0.05$ ), respecto de un manejo en aire natural. La Figura 1 muestra las concentraciones encontradas en las bolsas después de que fueron retiradas del almacenamiento. Los frutos intactos mostraron una reducción mayor ( $P \leq 0.05$ ) en la concentración de O<sub>2</sub>, dentro de los envases plásticos (2.22 % en promedio), que los descascarados (6.04 % en promedio). Esto sugiere que la cáscara eliminada contribuyó en forma importante al consumo de este gas. En adición, para este gas no hubo diferencia por el tipo de envase (BR o ZP); por lo que podría considerarse que la actividad respiratoria causó un efecto más importante que el fenómeno de permeación en el cambio de concentraciones del interior de las bolsas. Por otro lado, durante la fase experimental se usaron pruebas destructivas; por lo que las mediciones no corresponden a las mismas UE durante todo el proceso

explains that the decrease tendency of  $O_2$  concentration occurred with the fluctuations shown on Figure 1.

In the case of  $CO_2$  there was no difference by the type of fruit, although there was difference by the effect of the type of container ( $P \leq 0.05$ ); being higher in ZP than in BR, and the difference was that the ZP bag caused greater gas accumulation in removed husk fruit. These results suggests that ZP bag put up more resistance to  $CO_2$  interchange with the environment than the BR one; in other words the permeation phenomenon had greater importance in the case of  $CO_2$ . In addition, because of the greater level of  $CO_2$  a differentiated effect could be expected on the physiological activity of the fruit. On the other hand, same as it happened with  $O_2$ , fluctuations shown on Figure 1 are due to the fact that the experimental phase had a basis on destructive testing and the use of different EU to evaluate the response variables.

de almacenamiento. Ello explica que la tendencia de disminución de la concentración de  $O_2$  ocurrió con las fluctuaciones mostradas por la Figura 1.

En el caso del  $CO_2$  no hubo diferencia por el tipo de fruto, aunque sí la hubo por efecto del tipo de envase ( $P \leq 0.05$ ); siendo mayor en ZP que en BR, y la diferencia fue que la bolsa ZP causó mayor acumulación del gas con frutos descascarados. Estos resultados sugieren que la bolsa ZP ejerció mayor resistencia al intercambio de  $CO_2$  con el ambiente que la BR; es decir, que el fenómeno de permeación tuvo mayor importancia en el caso del  $CO_2$ . En adición, por el mayor nivel de  $CO_2$  podría esperarse un efecto diferenciado sobre la actividad fisiológica de los frutos. Por otro lado, al igual que como ocurrió con el  $O_2$ , las fluctuaciones mostradas en la Figura 1 se deben a que la fase experimental se basó en pruebas destructivas y el uso de distintas UE para evaluar las variables respuesta.



**Figure 1.** Concentrations of  $O_2$  and  $CO_2$  in the environment of tomatillo husk tomato fruit with calyx (untouched: I) and without calyx (removed husk: D). The same capital letters, inside captions of each box indicate non-significant difference. The same lower case letters in parentheses next to letters I and D, indicate non-significant difference between boxes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Each dot is the mean of three observations and the bars related to them represent standard error. BR: Bol Rol® bags; ZP: Ziploc® bags; SE without plastic container.

**Figura 1.** Concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  en el entorno de frutos de tomatillo con cáliz (intactos: I) y sin cáliz (descascarados: D). Letras mayúsculas iguales, al interior de la leyenda en cada recuadro, indican diferencia no significativa. Letras minúsculas iguales, entre paréntesis al lado de las letras I y D, indican diferencia no significativa entre recuadros (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Cada punto es la media de tres observaciones, y las barras asociadas a ellos representan error estándar. BR: bolsas Bol Rol®; ZP: bolsas Ziploc®; SE: sin envase plástico.

## Anaerobic metabolites production

A total average content of anaerobic metabolites (acetaldehyde and ethanol) of  $101.80 \mu\text{mol}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ , was found in fruit with calyx which was significantly higher ( $P \leq 0.05$ ) than the  $23.67 \mu\text{mol}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  found in the removed husk fruit (Figure 2) which was coherent with the lower  $\text{O}_2$  concentration registered in the containers of untouched fruit. The formation of metabolites, like acetaldehyde and ethanol, happens by means of anaerobic respiration, in which pyruvate formed in glycolysis follows the route of acetaldehyde formation and this one at the same time transforms into ethanol (Taiz & Zeiger, 2006). Since the average concentration of  $\text{O}_2$  to which the fruit in bags were exposed to, was 2.22 % for the fruit with calyx and 6.04 % for the removed husk ones, it is deduced that at this range a change of sensitivity to the low oxygen availability is induced. On the other hand, there was no effect on the type of container in the fermentative activity that was developed.

## Respiration activity

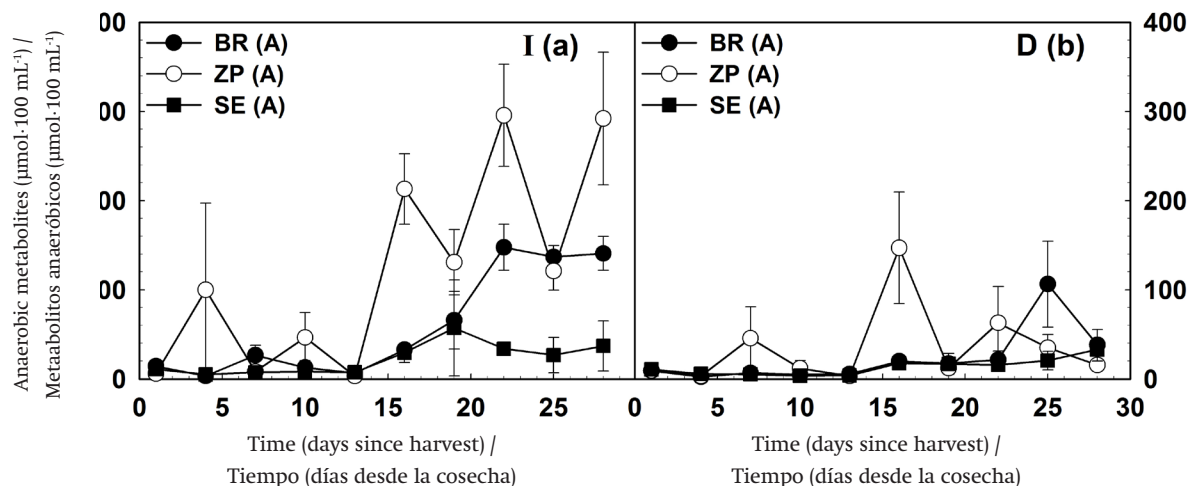
A significant difference ( $P \leq 0.05$ ) wasn't found in the respiration rate between types of fruits, with and without calyx (Figure 3); which contrasted with the

## Producción de metabolitos anaeróbicos

En los frutos con cáliz se encontró un contenido promedio total de metabolitos anaeróbicos (acetaldehído y etanol) de  $101.80 \mu\text{mol}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ , que fue significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) a los  $23.67 \mu\text{mol}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  hallados en los frutos descascarados (Figura 2); lo cual fue congruente con la menor concentración de  $\text{O}_2$  registrada en los envases de los frutos intactos. La formación de metabolitos, como acetaldehído y etanol, ocurre por una respiración anaerobia, en la que el piruvato formado en la glicólisis sigue la ruta de la formación de acetaldehído, y éste a su vez se transforma en etanol (Taiz & Zeiger, 2006). Como la concentración promedio de  $\text{O}_2$  a la que se expusieron los frutos en las bolsas fue de 2.22 % para los frutos con cáliz y de 6.04 % para los descascarados, se deduce que en este rango se induce un cambio de sensibilidad a la baja disponibilidad de  $\text{O}_2$ . Por otro lado, no hubo efecto del tipo de envase en la actividad fermentativa desarrollada.

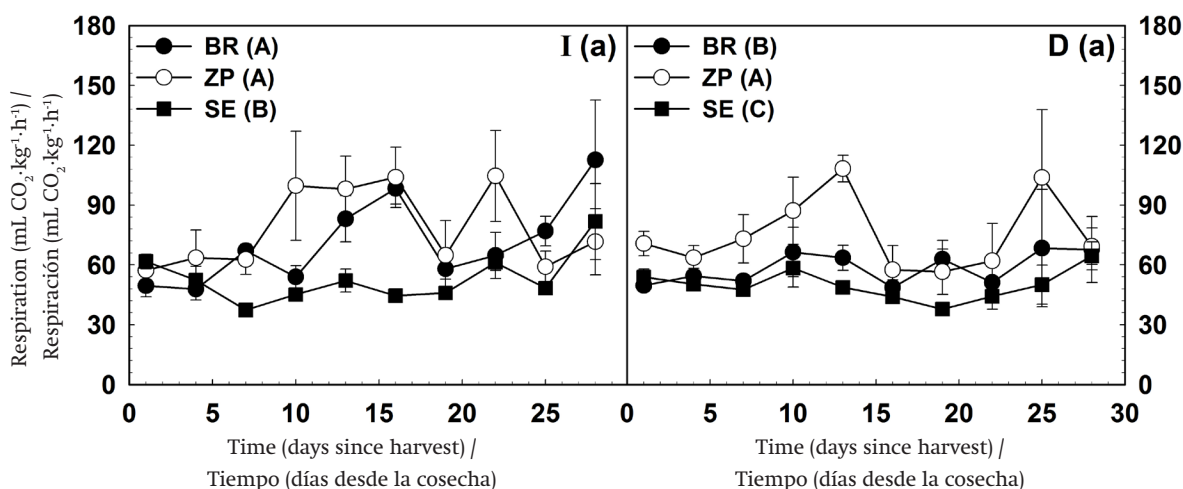
## Actividad respiratoria

No se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la velocidad de respiración entre tipos de frutos, con y sin cáliz (Figura 3); lo cual contrastó con el reporte



**Figure 2.** Content of metabolites of anaerobiosis (acetaldehyde and ethanol) found in tomatillo husk tomato fruit with calyx (untouched: I) and without calyx (removed husk: D). Same capital letters, inside captions of each box indicate non-significant difference. The same lower case letters in parentheses next to letters I and D indicate non-significant difference between boxes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Each dot is the mean of three observations and the related bars to them represent standard error. BR: Bol Rol® bags; ZP: Ziploc® bags; SE: without plastic container.

**Figura 2.** Contenido de metabolitos de la anaerobiosis (acetaldehído y etanol) hallado en frutos de tomatillo con cáliz (intactos: I) y sin cáliz (descascarados: D). Letras mayúsculas iguales, al interior de la leyenda en cada recuadro, indican diferencia no significativa. Letras minúsculas iguales, entre paréntesis al lado de las letras I y D, indican diferencia no significativa entre recuadros (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Cada punto es la media de tres observaciones y las barras asociadas a ellos representan error estándar. BR: bolsas Bol Rol®; ZP: bolsas Ziploc®; SE: sin envase plástico.



**Figure 3.** Respiration activity of tomatillo husk tomato fruit with calyx (untouched: I) and without calyx (removed husk: D). Same capital letters, inside captions of each box indicate non-significant difference. The same lower case letters in parentheses next to letters I and D indicate non-significant difference between boxes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Each dot is the mean of three observations and the related bars to them represent standard error. BR: Bol Rol® bags; ZP: Ziploc® bags; SE: without plastic container.

**Figura 3.** Actividad respiratoria de frutos de tomatillo con cáliz (intactos: I) y sin cáliz (descascarados: D). Letras mayúsculas iguales, al interior de la leyenda en cada recuadro, indican diferencia no significativa. Letras minúsculas iguales entre paréntesis al lado de las letras I y D indican diferencia no significativa entre recuadros (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Cada punto es la media de tres observaciones y las barras representan error estándar. BR: bolsas Bol Rol®; ZP: bolsas Ziploc®; SE: sin envase plástico.

Cruz-Álvarez et al. (2012) report, these authors found that the existence of calyx promotes higher respiration rate. Fruit exposed to normal air showed activity of  $51.48 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , which was higher to the registration of Cruz-Álvarez et al. (2012). For the improved variety CHF1-Chapingo, and by Cantwell et al. (1992) for cultivars 'Púrpura' and 'Rendidora', with values within 6 and  $20 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; because of the aforementioned it is believed that the contrast could have been due to natural differences among cultivars.

On the other hand, it is documented that the fruit and vegetables exposure to environments with low  $\text{O}_2$  and high  $\text{CO}_2$  cause reduction of the respiration activity (Kader & Saltveit, 2003). However, in this work the fruit handled in MAP in ZP bag had respiration activity average  $76.84 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , and the ones in BR bags showed values of  $64.83 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , that were higher than the ones kept under air conditions ( $P \leq 0.05$ ). A similar result but in controlled atmosphere at 5 % of  $\text{O}_2$  and 5 to 10 % of  $\text{CO}_2$ , besides from air exposure as blank treatment, it was found in lychee fruit (Valle-Guadarrama, Alonso-Campos, & Alia-Tejagal, 2008), where respiration, at the end of treatments, increased when  $\text{CO}_2$  of the environment was higher. The authors explained that during the exposure to high  $\text{CO}_2$  concentrations the gas that spreads towards the interior of the tissue, where high concentrations near the environment are reached, establishing a balance and its concentration depends on the external  $\text{CO}_2$

de Cruz-Álvarez et al. (2012), quienes encontraron que la presencia del cáliz propicia mayor tasa respiratoria. Los frutos expuestos al aire normal presentaron actividad de  $51.48 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , la cual fue mayor a la reportada por Cruz-Álvarez et al. (2012) para la variedad mejorada CHF1-Chapingo, y por Cantwell et al. (1992) para los cultivares 'Púrpura' y 'Rendidora', con valores entre 6 y  $20 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; por lo anterior se cree que el contraste pudo obedecer a diferencias naturales entre cultivares.

Por otro lado, está documentado que la exposición de frutas y hortalizas a ambientes con bajo  $\text{O}_2$  y elevado  $\text{CO}_2$  causa reducción de la actividad respiratoria (Kader & Saltveit, 2003). Sin embargo, en el presente trabajo, los frutos manejados en AM con bolsa ZP tuvieron actividad respiratoria promedio de  $76.84 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , y aquéllos con bolsas BR presentaron valores de  $64.83 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , que fueron mayores a los de aire ( $P \leq 0.05$ ). Un resultado similar, pero con atmósferas controladas al 5 % de  $\text{O}_2$  y de 5 a 10 % de  $\text{CO}_2$ , además de exposición al aire como testigo, se encontró en frutos de litchi (Valle-Guadarrama, Alonso-Campos, & Alia-Tejagal, 2008), donde la respiración, al término de tratamientos, aumentó cuando fue mayor el  $\text{CO}_2$  del ambiente. Los autores explicaron que durante la exposición a concentraciones elevadas de  $\text{CO}_2$  el gas se difunde hacia el interior del tejido, donde se alcanzan concentraciones cercanas a la del entorno, estableciendo un equilibrio cuya concentración depende del nivel



level. When transferring to normal atmosphere with less CO<sub>2</sub> during the respiration evaluation, the gradient concentration is modified between the interior of the fruit and the environment which causes CO<sub>2</sub> release at a higher rate, which explains higher emission of this gas in fruits exposed to MAP in comparison with fruits without this technique.

### Weight loss

A greater weight loss was found in untouched fruit than in removed husk fruit (Table 1), which was similar to the behavior observed by Cruz-Álvarez et al. (2012). These results suggest that the existence of calyx in the fruit promotes loss of moisture and it is believed that the reason for that is such structure contributes to have bigger area of contact with the environment, which originates higher flow of water to it. Besides, as the storage went by, the accumulated weight loss showed a ascendant tendency ( $P \leq 0.05$ ), and the statics analysis reported a significant interaction between the type of fruit and the time, due to fact that weight loss happened at a higher speed in the the untouched fruit than in those that did not have calyx. On the other hand, there was no significant difference ( $P \leq 0.05$ ) in the effect of used containers. According to Kader and Saltveit (2003), handling fruit in MAP allows high relative humidity (RH) in the fruit environment and for that reason weight losses are reduced by transpiration. In the present work, after removing EU, it was found that the calyx of the untouched fruit was humid (data not showed), which gave certainty of high RH inside the bags.

### Firmness

Fruit firmness was higher (10.73 N in average) on removed husk fruit than on untouched fruit (9.52 N in average;  $P \leq 0.05$ ). As time went by, a decrease was observed in the value of this variable in the fruit (Table 1); thus, within 13 and 16 days a drastic change aroused and from that moment the fruit showed weak consistency to the touch. Texture is an important factor in the quality of fruit and vegetable products. The result of this work suggested that removing the calyx allows a reduction of the speed in which softening occurs so that shelf life is extended. This values were similar to ones obtained by Cruz-Álvarez et al. (2012), who also observed that during the first storage stage removed calyx fruit showed tendency to keep greater values of firmness.

On the other side, firmness had higher values in ZP bags fruit (11.30 N), followed by those handled in BR bags (9.74 N) and finally the ones fruit exposed to normal air (8.35 N), with a significant difference among the three ( $P \leq 0.05$ ; Table 1). It is known that product firmness is controlled as by the turgor pressure of the tissue, as

de CO<sub>2</sub> externo. Al transferir a atmósfera normal con menos CO<sub>2</sub>, durante la evaluación de respiración, se modifica el gradiente de concentración entre el interior del fruto y el entorno; ello causa liberación de CO<sub>2</sub> a mayor velocidad, lo que explica la mayor emisión de este gas en los frutos expuestos a AM en comparación con los frutos sin esta técnica.

### Pérdida de peso

En los frutos intactos se encontró mayor pérdida de peso que en los frutos descascarados (Cuadro 1); lo cual fue similar al comportamiento observado por Cruz-Álvarez et al. (2012). Estos resultados sugieren que la presencia del cáliz en el fruto favorece la pérdida de humedad, y se cree que la razón es que dicha estructura contribuye a tener mayor área de contacto con el entorno, lo que resulta en mayor flujo de agua hacia éste. Además, a medida que transcurrió el almacenamiento, la pérdida acumulada de peso mostró una tendencia ascendente ( $P \leq 0.05$ ), y el análisis estadístico reportó interacción significativa entre el tipo de fruto y el tiempo, debido a que en los frutos intactos la pérdida de peso ocurrió a mayor velocidad que en aquéllos que no tuvieron cáliz. Por otro lado, no hubo diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) en el efecto de los envases usados. Según Kader y Saltveit (2003), el manejo de frutos en AM permite mantener la humedad relativa (HR) alta en el entorno de los frutos, y por tanto se reducen las pérdidas de peso por transpiración. En el presente trabajo, tras el retiro de UE, se encontró que el cáliz de los frutos intactos estaba humedecido (datos no mostrados), lo que dio certeza de HR alta dentro de las bolsas.

### Firmeza

La firmeza de los frutos sin cáliz fue mayor (10.73 N en promedio) que la de los frutos intactos (9.52 N en promedio;  $P \leq 0.05$ ). A medida que transcurrió el tiempo, se observó decremento en el valor de esta variable en los frutos (Cuadro 1); de tal forma que entre los 13 y 16 días se presentó un cambio drástico, y a partir de entonces los frutos mostraron consistencia muy floja al tacto. La textura es un factor importante en la calidad de los productos hortofrutícolas. Los resultados del presente trabajo sugirieron que la eliminación del cáliz permite reducir la velocidad a la cual ocurre el ablandamiento y, con ello, alargar la vida de anaquel. Estos valores fueron similares a los obtenidos por Cruz-Álvarez et al. (2012), quienes también observaron que durante la primera etapa de almacenamiento los frutos sin cáliz mostraron tendencia a mantener mayores valores de firmeza.

Por otra parte, la firmeza tuvo valores mayores en los frutos de bolsas ZP (11.30 N), seguidos de aquéllos manejados en bolsas BR (9.74 N) y finalmente de los frutos expuestos a aire normal (8.35 N), con diferencia

**Table. 1 Quality features of tomatillo husk fruit during storage in modified atmosphere at 20 °C.**  
**Cuadro 1. Atributos de calidad de frutos de tomatillo durante el almacenamiento en atmósfera modificada a 20 °C.**

Level/ Nivel	% PP	Firmness (N)/ Firmeza (N)	TSS (°Brix)/ SST (°Brix)	Acidity (%)/ Acidez (%)	°Brix Acidity °Brix Acidez	Az Red (%)	Az Tot (%)	Lumin (%)	Chroma/ Croma	Hue (degrees) / Hue (grados)
<b>Factor A: fruits / Factor A: frutos</b>										
FI	11.09a	9.52b	5.73b	0.75a	8.01a	0.79a	1.01b	55.42a	25.20a	178.79a
FD	6.48b	10.73a	5.87a	0.75a	8.21a	0.81a	1.06a	56.24a	24.98a	178.77a
HSD <sup>z</sup> / DMSH <sup>z</sup>	2.43	1.18	0.14	0.04	0.53	0.04	0.05	0.96	0.37	0.09
<b>Factor B: containers / Factor B: envases</b>										
BR	8.74a	9.74b	5.73b	0.69b	8.68a	0.77b	1.01a	55.57ab	25.15a	178.81a
ZP	10.29a	11.30a	5.70b	0.73b	8.32a	0.83a	1.04a	55.00b	24.92a	178.74a
SE	7.33ab	8.35c	5.98a	0.84a	7.33b	0.80ab	1.07a	56.92a	25.21a	178.78a
HSD <sup>z</sup> / DMSH <sup>z</sup>	2.56	1.37	0.21	0.05	0.78	0.06	0.07	1.41	0.55	0.13
<b>Factor C: time / Factor C: tiempo</b>										
1	0.65d	11.79b	5.83bc	0.69a	9.03a	0.81327ab	0.94b	69.48a	42.01a	178.70a
4	2.12cd	16.93a	6.35a	0.79a	8.31ab	0.79abc	1.05ab	40.70c	18.51c	178.77a
7	5.03cbd	10.40b	6.20ba	0.79a	8.08ab	0.86a	1.03ab	53.82b	23.83b	178.78a
10	6.73cbd	10.50b	6.15ab	0.74a	8.72a	0.82ab	0.97ab	55.07b	24.12b	178.77a
13	3.47cd	10.44b	6.05ab	0.77a	8.14ab	0.89a	1.08ab	56.18b	23.748b	178.76a
16	18.36a	8.00c	5.79bc	0.74a	8.09ab	0.87a	1.14a	56.30 b	23.77b	178.91a
19	15.91a	9.02bc	5.87abc	0.76a	8.05ab	0.78abc	1.07ab	56.80b	23.99b	178.74a
22	10.13abc	8.35bc	5.18d	0.80a	6.73b	0.81ab	1.11ab	56.301b	23.87b	178.74a
25	12.87ab	8.47bc	5.39cd	0.69a	8.15ab	0.69bc	1.02ab	57.15b	23.73b	178.80a
28	12.60ab	7.41c	5.21d	0.72a	7.79ab	0.66c	0.94b	56.50b	23.35b	178.69a
HSD <sup>z</sup> / DMSH <sup>z</sup>	8.82	2.41	0.51	0.14	1.93	0.14	0.19	3.51	1.36	0.33
CV <sup>y</sup>	93.67	79.4	8.21	17.73	22.16	16.478	16.80	5.86	5.06	0.17
A×B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B×C	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
A×C	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup>HSD: honest significant difference (Tukey;  $P \leq 0.05$ ).

<sup>y</sup>CV: coefficient of variation (%). ns, \*: non-significant and significant (Tukey;  $P \leq 0.05$ ). Medians with the same letters do not differ statistically.

BR: Bol Rol® brand bags; ZP: Ziploc® brand bags; SE without container; FI: untouched fruit; FD: removed husk fruit; % PP: accumulated weight loss; Az Red: reducing sugars; Az Tot: total sugars; Lumin: luminance; Croma: chromaticity; Hue: hue angle.

<sup>z</sup>DMSH: diferencia mínima significativa honesta (Tukey;  $P \leq 0.05$ ).

<sup>y</sup>CV: coeficiente de variación (%). ns, \*: no significativo y significativo (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Medias con las mismas letras no difieren estadísticamente.

BR: bolsa marca Bol Rol®; ZP: bolsa marca Ziploc®; SE: sin envase; FI: fruto intacto; FD: fruto descascarado; % PP: pérdida acumulada de peso; Az Red: azúcares reductores; Az Tot: azúcares totales; Lumin: luminosidad; Croma: cromaticidad; Hue: ángulo de matiz.

well as enzyme activity alter components of the cell wall (Smith, Waldron, Maness, & Perkins-Veazie, 2003; Toivonen & Brummell, 2008).

In the previous lines it was shown that the difference of conditions between ZP and BR was greater concentration of CO<sub>2</sub> in the first one; therefore, this could be the reason for the preservation of firmness in higher values which suggests that tomatillo husk tomato fruit are sensitive to greater existence of CO<sub>2</sub> in the environment. In regard to that, it has been found that the increase of this gas concentration in the environment turns in different beneficial effects that promote lengthening of shelf life in postharvest. Moreover, handling fruit in MAP is distinguished by exposure to lower concentrations of O<sub>2</sub> and higher ones of CO<sub>2</sub> which causes slowing down of different enzymatic complexes associated to ripening and

significativa entre los tres ( $P \leq 0.05$ ; Cuadro 1). Se sabe que la firmeza de un producto está controlada tanto por la presión de turgencia del tejido, como por la actividad de enzimas que alteran los componentes de la pared celular (Smith, Waldron, Maness, & Perkins-Veazie, 2003; Toivonen & Brummell, 2008).

En líneas anteriores se mostró que la diferencia de condiciones entre ZP y BR fue la mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la primera, y por tanto, ésta pudo ser la razón de la conservación de la firmeza en valores mayores; lo que sugiere que los frutos de tomatillo son sensibles a la mayor presencia de CO<sub>2</sub> en el ambiente. Al respecto, se ha encontrado que la elevación de la concentración de este gas en el ambiente se traduce en distintos efectos benéficos que propician el alargamiento de la vida útil en postcosecha. Asimismo, el manejo de frutos en AM está caracterizado por

senescence of fruit (Beaudry, 1999), and explains the difference on handling them in MAP from handling in normal air.

#### **Total soluble solids (TSS), acidity and °Brix/acidity ratio**

Fruit had TSS at a range of 5.7 a 6.0 °Brix which was similar Cruz-Álvarez et al. (2012) findings. Although the statistic analysis showed differences between untouched and removed calyx fruit, and also it was found an effect by the type of container (Table 1;  $P \leq 0.05$ ), it was actually considered that such contrast have no practical importance. The tomatillo husk tomato fruit is classified as a non-climacteric fruit (Cantwell et al., 1992), and it is harvested in a condition of complete edible ripening. For that reason, the behavior equaled the senescence phase. Besides data showed some variations with no tendency during storage which were understood as normal variability of the fruit.

Acidity in fruit without calyx was similar to the untouched fruit ( $P > 0.05$ ); which was considered to be normal, since the samples used for the analysis came from the fruit itself and not from the calyx. There was not significant variation over the time and, same as in TSS, it was found that this variable does not change in a relevant way during senescence. However, acidity was higher in fruit kept in normal air than in plastic bags BR and ZP, without any difference on the effect of packages (Table 1). While the characteristics of the fruit in normal air represent the distinctive value of tomatillo husk tomato fruit, results show that handling them in MAP causes reduction of acidity. This situation contrasts with results of other works with pumpkin and melon where the packaging in MAP has not shown any effect on the acidity content during storage. (Habbibunnisa-Baskaran, Prasad, & Shivaiah, 2001; Perkins-Veazie & Collins, 2004). Although it is important to point out that these studies have combined MAP with refrigeration.

In the °Brix/acidity ratio it was found that the packed materials has higher value in this variable then the ones left in natural air (Table 1,  $P \leq 0.05$ ). Despite the effect of the MAP on TSS was small, the affectation that was observed on acidity was determinant to find significance in the °Brix/acidity ratio. Due to the fact that this parameter is determined through the consumers sense of taste, it certainly could turn out in a change on the preference of them derived from the use of MAP; although tomatillo husk tomato is normally consumed macerated as an ingredient of sauces, such effect could turn out disguised.

#### **Total reducing sugars**

A significant difference in total reducing sugars was found between types of fruit but there was not any

exposición a menores concentraciones de  $O_2$  y mayores de  $CO_2$ , lo que causa ralentización de distintos complejos enzimáticos asociados a la maduración y senescencia de frutos (Beaudry, 1999), y explica la diferencia de los tratamientos en AM respecto del manejo en aire normal.

#### **Sólidos solubles totales (SST), acidez y relación °Brix/acidez**

Los frutos tuvieron SST en el rango de 5.7 a 6.0 °Brix, lo cual fue similar a lo hallado por Cruz-Álvarez et al. (2012). Aunque el análisis estadístico mostró diferencias entre frutos intactos y sin cáliz, y también se encontró efecto por tipo de envase (Cuadro 1;  $P \leq 0.05$ ), en realidad se consideró que tales contrastes no tienen importancia práctica. El tomatillo está clasificado como un fruto no climatérico (Cantwell et al., 1992), y se le cosecha en estado de madurez comestible. Por tanto, el comportamiento correspondió a la etapa de senescencia. Además, los datos mostraron algunas variaciones sin ninguna tendencia durante el almacenamiento, y éstas se interpretaron como una variabilidad normal de los frutos.

La acidez de los frutos sin cáliz fue similar a la de los frutos intactos ( $P > 0.05$ ); lo cual se consideró normal, pues las muestras usadas para análisis provinieron del fruto en sí y no del cáliz. Tampoco hubo variación significativa a lo largo del tiempo y, al igual que con SST, se encontró que esta variable no cambia en forma importante durante la senescencia. Sin embargo, la acidez fue mayor en los frutos mantenidos en aire normal que en los de bolsas plásticas BR y ZP, sin diferencia en el efecto de éstas (Cuadro 1). En tanto que las características de los frutos de aire normal representan el valor característico del fruto de tomatillo, los resultados muestran que el manejo en AM causa reducción de la acidez. Esta situación contrasta con los resultados de otros trabajos con calabaza y melón, donde el envasado en AM no ha mostrado efecto sobre el contenido de acidez durante el almacenamiento (Habbibunnisa-Baskaran, Prasad, & Shivaiah, 2001; Perkins-Veazie & Collins, 2004). Aunque cabe indicar que estos estudios han combinado las AM con refrigeración.

En la relación °Brix/acidez se encontró que los materiales embolsados tuvieron mayor valor en esta variable que los dejados en aire natural (Cuadro 1,  $P \leq 0.05$ ). Pese a que el efecto de las AM sobre los SST fue pequeño, la afectación que se tuvo sobre la acidez fue determinante para encontrar significancia en la relación °Brix/acidez. Debido a que este parámetro es determinado por los consumidores mediante el sentido del gusto, sí podría resultar en un cambio en la preferencia de éstos derivado del uso de AM; aunque como el tomatillo se consume más bien macerado como un ingrediente de salsas, dicho efecto también puede resultar enmascarado.

for reducing sugars ( $P \leq 0.05$ ); from which is drawn that the difference in the first ones was caused by non-reducing sugars. However, same as happened for TSS, even with statistical significance, in fact, the difference is small for having any practical implication. A similar situation occurred in the of type of container factor, since it was found that there was a difference in reducing sugars and there was not any in total sugars but the difference is not accepted with practical implications. On the other side, the results contrast with the ones reported by Cantwell et al. (1992), for cultivars Púrpura and Rendidora, where values up to 7 % were found that are much superior to 1.04 % average of this work and also it is believed that the contrast is due to normal differences between cultivars. In regard to time factor, although some variations were no registered, a clear tendency could not be established which is attributed to the fact that tomatillo husk tomato fruit is non climacteric.

### Color features

Results showed hue angle values very close to full green and such condition did not change over the time and it was not affected either by the presence or absence of calyx, nor by the type of container used ( $P > 0.05$ ; Table 1). In the cases of chromaticity and luminance, important effects were not found neither on the important factors applied in the experience ( $P \leq 0.05$ ). It follows from the foregoing that storage in MAP does not contribute to the improvement of color attributes of tomatillo husk tomato fruit with husk in postharvest. In general it is accepted that the MAP contributes to avoid degradation of chlorophyll (Mir & Beaudry, 2004); however, data shows that tomato with husk in not is not characterized by important changes in color features and therefore MAP have little or none effect on them.

### Conclusions

The removal of calyx from tomatillo husk tomato fruit caused a reduction of rate on the  $O_2$  consumption and on the water loss, and it allowed preservation of firmness in higher values in postharvest. Removal of calyx does not affect color features, nor the content of total soluble solids, acidity, and sugars. Similarly, the elimination of calyx reduces risk of fermentative metabolism during operation in MAP. Handling tomatillo husk tomato fruit in MAP implemented with Ziploc® bags allows longer lifetime than the use of Bol Rol®.

### Azúcares reductores y totales

Se encontró diferencia significativa en azúcares totales entre tipos de fruto, pero no la hubo para azúcares reductores ( $P \leq 0.05$ ); de lo cual se desprende que la diferencia en los primeros fue causada por azúcares no reductores. Sin embargo, al igual que como ocurrió para SST, aún con significancia estadística, en realidad la diferencia es pequeña para tener alguna implicación práctica. Una situación similar ocurrió en el caso del factor tipo de envase, pues se encontró que había diferencia en azúcares reductores y no la hubo en azúcares totales, pero la diferencia tampoco se acepta con implicaciones prácticas. Por otro lado, los resultados contrastan con los reportados por Cantwell et al. (1992), para los cultivares Púrpura y Rendidora, donde se encontraron valores hasta de 7 %, que son muy superiores al promedio de 1.04 % del presente trabajo, y también se cree que el contraste obedeció a diferencias normales entre cultivares. En lo que respecta al factor tiempo, aunque se registraron algunas variaciones, no se pudo establecer una tendencia clara; lo cual se atribuye a que el fruto de tomatillo es no climatérico.

### Atributos de color

Los resultados mostraron valores de ángulo de matiz muy cercanos al verde absoluto, y tal condición no cambió a lo largo de tiempo, ni se vio afectada por la presencia o ausencia del cáliz, ni por el tipo de envase usado ( $P > 0.05$ ; Cuadro 1). En los casos de cromaticidad y luminosidad tampoco se encontraron efectos importantes de los factores aplicados en el experimento ( $P > 0.05$ ). De lo anterior se desprende que un almacenamiento en AM no contribuye al mejoramiento de los atributos de color de los frutos de tomate de cáscara en postcosecha. Generalmente se acepta que las AM contribuyen a evitar la degradación de clorofila (Mir & Beaudry, 2004); sin embargo, los datos muestran que el tomate de cáscara no se caracteriza por cambios importantes en los atributos de color, y por ende las AM tienen poco o nulo efecto en ellos.

### Conclusiones

La eliminación del cáliz en frutos de tomatillo causó reducción en la velocidad de consumo de  $O_2$  y en la pérdida de agua, y permitió la conservación de la firmeza en valores mayores en postcosecha. La eliminación del cáliz no afecta los atributos de color, ni el contenido de sólidos solubles totales, de acidez, ni el de azúcares. Asimismo, la remoción del cáliz reduce el riesgo de metabolismo fermentativo durante la manipulación en AM. El manejo de frutos de tomatillo en AM implementada con bolsas Ziploc®, permite mayor vida útil que el uso de bolsas Bol Rol®.

*End of English version*

*Fin de la versión en español*



## References / Referencias

- Beaudry, R. M. (1999). Effect of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 293-303.
- Cantwell, M. (2002). Appendix: summary table of optimal handling conditions for fresh produce. In Kader, A. A. (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (pp. 511-518). California, USA: University of California.
- Cantwell, M., Flores-Minutti, J., & Trejo-González, A. (1992). Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruits (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Scientia Horticulturae*, 50, 59-70.
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M. T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Moreno-Pérez, E. C. (2012). Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17, 333-344.
- Davis, P. L., & Chace, W. G. (1969). Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. *HortScience*, 4, 117-119.
- Dongguan Wanhao Package Co. (2015). Plastic Ziplock colored aluminium foil food packaging bags for snack. <http://www.foodpouchpackaging.com>. Fecha de consulta: 2 de diciembre de 2015.
- González-Mendoza, D., Ascencio-Martinez, D., Hau, P. A., Mendez, T. V., Grimaldo-Juarez, O., Santiaguillo, H. J. F., Cervantes, D. L., & Aviles M. S. M. (2011). Phenolic compounds and physiochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. *Scientific Research and Essays*, 6, 3808-3814.
- Habbibunnisa-Baskaran, R., Prasad, R., & Shivaiah, K. M. (2001). Storage behavior minimally processed pumpkin (*Cucurbita maxima*) under modified atmosphere packaging conditions. *European Food Research and Technology*, 212, 165-169.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110, 428-435.
- Horwitz, W. (1980). *Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (13th ed., pp. 515-518). Washington, USA: AOAC.
- Kader, A. A., & Saltveit, M. E. (2003). Modified atmosphere. In J. A. Bartz & J. K. Bretch (Eds.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables* (2nd ed., pp. 229-246). New York, USA: Marcel Dekker Inc.
- Magdaleno-Villar, J. J., Peña-Lomelí, A., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Galvis-Spinola, A., Ramírez-Pérez, F., & Hernández-Hernández, B. (2006). Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12, 223-229.
- Mangaraj, S., Goswami, T. K., & Mahajan, P. V. (2009). Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, 1, 133-158.
- Mir, N., & Beaudry, M. (2004). Modified Atmosphere Packaging. The comercial Storage of Fruits Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. *Agriculture Handbook Number 66*. USDA, USA.
- Peña-Lomelí, A., Mejía-Contreras, A., Rodríguez-Pérez, M. E., Carballo-Carballo, A., Rodríguez-Pérez, J. E., & Moreno-Maldonado, M. (2004). Parámetros genéticos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad verde Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 1-7.
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. D., Márquez-Sánchez, F., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., & Cervantes-Santana, T. (2002). Respuestas estimadas y observadas de tres métodos de selección en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25, 171-178.
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán, J. D., Sahagún-Castellanos, J., Ortiz-Cereceres, J., Márquez-Sánchez, F., Cervantes-Santana, T., & Santiaguillo-Hernández, J. F. (2008). Parámetros genéticos en la variedad CHF1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14, 5-11.
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37, 381-391.
- Pérez-Moreno, L., Castañeda-Cabrera, C., Ramos-Tapia, M., & Tafoya-Razo, J. A. (2014). Control químico preemergente de la maleza en tomate de cáscara. *Interciencia*, 39, 422-427.
- Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2004). Flesh quality and lycopene stability of fresh cut water melon. *Postharvest Biology and Technology*, 31, 159-166.
- Ramírez-Godina, F., Robledo-Torres, V., Foroughbakhch-Pournabav, R., Benavides-Mendoza, A., Hernández-Piñero, J. L., Reyes-Valdes, M. H., & Alvarado-Vázquez, M. A. (2013). Yield and fruit quality evaluation in husk tomato autotetraploids (*Physalis ixocarpa*) and diploids. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 933-940.
- Ramos-Lara, C., Alcántar-González, G., Galvis-Spinola, A., Peña-Lomelí, A., & Martínez-Garza, A. (2002). Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra Latinoamericana*, 20, 465-469.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., Cervantes-Santana, T., & Peña-Lomelí, A. (2004). Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 85-91.
- Smith, A. C., Waldron, K. W., Maness, N., & Perkins-Veazie, P. (2003). Vegetable texture: measurement and structural implications, 297-332. In Bartz, J. A. &

- Bretch, J. K. (Eds.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables* (2nd ed., pp. 297-332). New York, USA: Marcel Dekker Inc.
- Statistical Analysis System (SAS Institute, Inc.). (1999). *SAS/STAT® 8.0 user's guide*. Cary, NC, USA: Autor.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4<sup>th</sup> ed.). Massachusetts, USA: Sinauer Associates Inc. Publishers.
- Toivonen, P. M. A., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 1-14.
- Valle-Guadarrama, S., Alonso-Campos, A., & Alia-Tejacal, I. (2008). Atmósferas con bajo O<sub>2</sub> y alto CO<sub>2</sub> para la conservación de frutos de litchi. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31, 157-164.
- Valle-Guadarrama, S., Gómez-Cruz, A., Cruz-Cruz, F., & Chan-Chi, A. (2009). Modelado de una atmósfera modificada para conservar frutos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*). *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1, 33-38.