

# EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS SOBRE LOS CAMBIOS POSCOSECHA DE MANGO (*MANGIFERA INDICA*) 'MANILA' EN MADUREZ FISIOLÓGICA

EFFECT OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE ON POSTHARVEST BEHAVIOR OF 'MANILA' MANGO (*MANGIFERA INDICA*) AT PHYSIOLOGICAL MATURITY

Manuel A. Vargas Ortiz<sup>1</sup>, Javier De la Cruz Medina<sup>1</sup>, Rosa M. Oliart Ros<sup>1</sup>, Andrés Rebolledo Martínez<sup>2</sup>, José A. Ramírez<sup>3</sup>, Hugo S. García<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos, Instituto Tecnológico de Veracruz. M.A. de Quevedo 2779. Col. Formando Hogar, Veracruz, Veracruz, México. C.P. 91897.

<sup>2</sup>INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, km 34, Carr. Veracruz-Córdoba, Veracruz, México C.P. 91700.

<sup>3</sup>Dirección de Innovación Tecnológica. Centro de Excelencia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87140.

\*Autor para correspondencia: hugosgg@gmail.com

Fecha de recepción: 21 de julio de 2013 / Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2013.

## RESUMEN

El mango 'Manila' (*Mangifera indica*) cuenta con características organolépticas que lo hacen un fruto muy atractivo para su consumo en fresco, sin embargo, en México gran parte de la producción de este frutal es atacada por la mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens*). La alta presión hidrostática se emplea para garantizar la inocuidad de diferentes alimentos procesados y recientemente ha sido propuesta como método cuarentenario alternativo contra *A. ludens*. El objetivo del presente estudio fue establecer el efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre la

fisiología poscosecha del mango 'Manila' almacenado a temperatura ambiente. Se utilizaron dos niveles de presión: 75 y 150 MPa; con cuatro niveles de tiempo: 0, 5, 10 y 20 minutos. Se determinaron cambios en la velocidad de respiración, producción de etileno, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, pérdida de peso, color y apariencia general. La presurización causó una reducción en la velocidad de respiración y producción de etileno, asociada con cambios negativos en el color, acidez, pérdida de peso y apariencia general. Los resultados obtenidos señalaron que el mango 'Manila' no resiste las

presurización como método cuarentenario al verse afectada negativamente su fisiología poscosecha.

**PALABRAS CLAVE:** Mango, mango 'Manila', fisiología poscosecha, alta presión hidrostática, método cuarentenario.

## ABSTRACT

'Manila' mango (*Mangifera indica*) has organoleptic characteristics that make it a very attractive fruit for fresh consumption. However, in Mexico much of the production of this fruit is attacked by the Mexican fruit



Tomado de: <http://gastroapuntunesuniversitarios.blogspot.mx/2011/07/mango.html>

fly (*Anastrepha ludens*). High hydrostatic pressure is used to ensure the safety of different processed foods and has recently been proposed as alternative quarantine method against *A. ludens*. The aim of this study was to establish the effect of high hydrostatic pressure on the postharvest physiology of 'Manila' mango stored at room temperature. Two levels of pressure were used: 75 and 150 MPa, with four levels of time: 0, 5, 10 and 20 minutes. Changes in the respiration rate, ethylene production, total soluble solids, pH, titratable acidity, weight, color and overall appearance, were determined. Pressurization caused a reduction in the rate of respiration and ethylene production, associated with negative changes in color, acidity, weight, and general appearance. Results indicated that 'Manila' mango cannot resist pressurization as quarantine method, affecting negatively the fruit postharvest physiology.

**KEYWORDS:** Mango, 'Manila' mango, postharvest physiology, high hydrostatic pressure, quarantine method.

## INTRODUCCIÓN

La velocidad a la que respira un producto vegetal, en este caso un fruto, constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil para determinar su vida comercial (Alviar y Torres, 2002). Ben-Yehoshua y col. (2005), observaron que las tasas de maduración y de senescencia en muchas frutas climatéricas como el mango, pueden ser afectadas por el control de la disponibilidad de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> en la fruta durante la respiración, y que estos dos compuestos pueden tener un efecto inhibitorio significativo en la capacidad de producción de etileno, gas responsable de iniciar la maduración. Es así, que mucha de la investigación conducida para desarrollar técnicas que facilitan la extensión de la vida de almacenamiento de los mangos, se ha centrado en los métodos que permiten el control del O<sub>2</sub>, del CO<sub>2</sub> y/o del etileno (Slaughter, 2009). Uno de los cambios más significativos del mango es el que se percibe en su velocidad de respiración

(VR), y se ha observado que esta VR de frutos del mango, sigue el patrón de un producto climatérico regular y muestra un valor máximo (pico climatérico) durante la maduración poscosecha (Mitcham y McDonald, 1992).

Se denomina presión hidrostática a la presión que experimenta un cuerpo cuando es sumergido en un líquido, y está en función de la densidad del líquido, la fuerza de la gravedad y la profundidad a la cual se sumerge. El tratamiento por altas presiones es un proceso físico, no térmico, que consiste en someter al alimento a una elevada presión. El fluido transmisor de la presión suele ser el agua, de ahí el nombre de alta presión hidrostática (APH). Originalmente, la APH se empleó para inactivar microorganismos, dado que tiene efecto sobre la morfología celular, modifica reacciones enzimáticas y puede afectar mecanismos genéticos de las células microbianas, sin alterar la calidad sensorial ni los nutrientes de los alimentos (Cheftel, 1995).

Actualmente, se investiga la posibilidad de utilizar las APH como tratamientos cuarentenarios contra insectos plaga (Candelario-Rodríguez y col., 2010; Castañón-Rodríguez y col., 2011; Vargas y col., 2013a), así como para incrementar la producción de metabolitos con actividad antioxidante (Ortega-López y col., 2013). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre la fisiología poscosecha del mango 'Manila' (*Mangifera indica*) durante el almacenamiento a 25 °C.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Mango 'Manila'

Se colectaron mangos de la variedad 'Manila' (*Mangifera indica*) en madurez fisiológica, se acondicionaron y se dividieron en 13 bloques, de los cuales, 12 se sometieron a presurizado de 75 y 150 megapascales (MPa) a distintos tiempos de exposición (0, 5, 10 y 20 minutos). Un bloque en madurez fisiológica se dejó como grupo testigo (TV). Aunado a lo anterior, se colectaron frutos en madurez de consumo (TM). Posterior a los tratamientos, se almacenaron a 25 °C para estudios de

fisiología con intervalos de tres días.

### Presurizado

El presurizado se aplicó con una prensa isostática fría CIP42260 (Avure Autoclave Systems, Columbus, OH, USA), con una cámara de presurizado de una capacidad de 6 litros con rango de 0.1 a 200 MPa. El medio presurizante fue una mezcla (5:1) de agua con un lubricante-anticorrosivo (Hydrolubric 120-B. EF Houghton and Co., Valley Forge, PA); los tratamientos fueron a 25 °C (Candelario-Rodríguez y col., 2010).

### Producción de CO<sub>2</sub> y etileno

Se determinó la producción de CO<sub>2</sub> y etileno de los frutos durante su almacenamiento; para lo cual se colocaron frutos de forma individual en cámaras de respiración de 1 L de capacidad, herméticas y provistas de un septum de hule, durante 1 h. El gas producido por el fruto fue extraído con una jeringa para cromatografía de gases a través del septum, utilizando 1 mL de espacio de cabeza de la cámara. La cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard HP5890 series II, con una columna Poraplot-Q de 12 m, bajo condiciones de 150 °C en el inyector split, 80 °C en el horno, 250 °C en el Detector de Ionización de Flama (FID), 250 °C en el Detector de Conductividad Térmica (TCD), y se utilizó nitrógeno (N<sub>2</sub>) como gas acarreador a un flujo de 2 mL/min. Para calcular la concentración de etileno y CO<sub>2</sub> presente en la muestra, se empleó la fórmula indicada por Saltveit y Yang (1987).

### Acidez titulable

El contenido de acidez se determinó como porcentaje de ácido cítrico por gramo de jugo de pulpa de los frutos. Se realizó por titulación con NaOH 0.1 N (de acuerdo al método establecido por la AOAC 1990).

### pH

El pH se determinó en el jugo extraído de la fruta, empleando un potenciómetro Thermo ORION® modelo 5-STAR equipado con un electrodo de combinación de vidrio previamente calibrado y estandarizado con soluciones de pH conocido (AOAC, 1990).

### Sólidos solubles totales

Se determinó la cantidad de sólidos solubles totales del jugo extraído de la pulpa de los frutos mediante un refractómetro ABBE® digital (Leica Mark II). Los resultados se reportaron como °Brix (AOAC, 1990).

### Color

Se determinó el ángulo de color Hue (°Hue) de la cáscara y pulpa de los frutos, utilizando un colorímetro HunterLab MiniScan XE Plus, empleando la escala CIELab.

### Firmeza

Se analizó la resistencia a la penetración en la cáscara de los frutos. La medición se realizó en tres diferentes partes del fruto, utilizando un penetrómetro de frutos, Wagner® FDK 20 (Norfolk, VA), con una punta cónica de 5 mm de diámetro (NMX-FF-014-1982).

### Pérdida fisiológica de peso

La pérdida fisiológica de peso se determinó mediante el pesado directo de cada uno de los frutos en una balanza electrónica OHAUS® Modelo TS4KD.

### Análisis estadístico

Los análisis se realizaron por triplicado, teniendo como unidad experimental un fruto, bajo un diseño completamente al azar. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza con el modelo general lineal (GLM), mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System V. 8.0); las medias fueron comparadas por prueba de Duncan mediante el mismo software.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto de la presurización en la apariencia y color

Los mangos `Manila` en estado de madurez comercial presentaron una considerable afectación inmediata, debido a los tratamientos de presurización en su apariencia externa e interna, influenciada fuertemente por el tiempo y nivel de presurización (Figura 1), por lo que no es conveniente presurizar mangos en estado

### Figura 1.

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la apariencia externa e interna del mango `Manila` en estado de madurez comercial.

Figure 1. Effect of high hydrostatic pressure on the external and internal appearance of `Manila` mango in ripening commercial stage.



de madurez comercial. No obstante lo anterior, es interesante observar que los mangos no presentaron fenómenos de ruptura estructural, cizalla o explosión inducida por los tratamientos de presurización a 75 y 150 MPa y despresurización inmediata. La susceptibilidad de los mangos maduros a los tratamientos de presurización, también ha sido reportada para mango `Tommy Atkins` (*Mangifera indica*) (Candelario-Rodríguez y col., 2009).

Los mangos `Manila` en estado de madurez fisiológica presentaron moderada afectación

inmediata (día 0), en su apariencia externa, por efecto de la presurización a 75 MPa; en tanto que los mangos presurizados a 150 MPa presentaron una gran afectación con cambios visibles inmediatos (Figura 2). Los cambios en la apariencia externa se manifestaron mediante la presencia de áreas irregulares con un ligero hundimiento, que adquirieron coloraciones cercanas al pardo, semejantes a los daños causados por raspaduras o golpes sobre la cáscara de los frutos. Conforme aumentó el tiempo de presurizado ocurrió un leve fenómeno de pérdida del color verde homogéneo, fenómeno que fue más notorio en los frutos presurizados a 150 MPa; en ambos niveles de presión, los mangos presurizados por 20 minutos mostraron mayor daño en la apariencia externa.

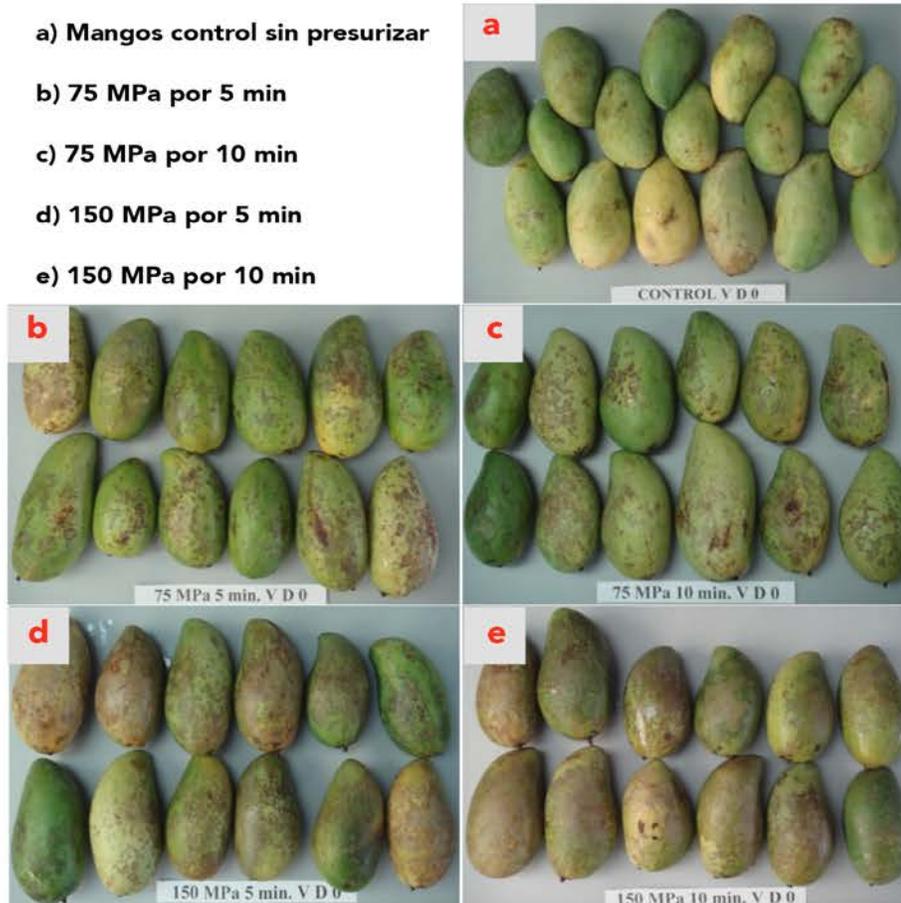
Los mangos en madurez fisiológica presurizados a 75 MPa presentaron en la cáscara un fenómeno de zonas con acumulación de pigmentación verde. Este fenómeno podría estar asociado con la descompartmentalización del tejido celular, provocando la acumulación de cloroplastos, y ha sido reportado recientemente por Vargas y col. (2013b), en mango `Manila` sometido a tratamientos de APH de 100 y 200 MPa, y previamente por Álvarez-Virrueta y col. (2012), en mangos `Ataulfo` presurizados a 30 MPa por 20 min y a 60 MPa por 10 a 20 min. Sin embargo, el mango variedad `Tomy Atkins` pareció mostrar mayor resistencia al tratamiento por altas presiones (Candelario-Rodríguez y col., 2009). A este respecto, Krebbers y col. (2002), propusieron que los tratamientos de APH pueden causar ruptura celular, permitiendo la salida de clorofila al espacio intercelular. Préstamo y Arroyo (1998), reportaron cambios estructurales en células de espinaca sometidas a tratamientos de APH; dichos cambios abarcaron deformación celular, pérdida de turgencia, colapso celular y formación de orificios en los tejidos. Sin embargo, algunos órganos conservados fueron los cloroplastos en tejidos vasculares. Aunado a esto, Shimada y col. (1993), expresan que los tratamientos de altas presiones hidrostáticas pueden inducir alteraciones en la pared celular que generen cambios texturales y transparencia.

En los mangos `Ataulfo` presurizados a

**Figura 2.**

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la apariencia externa del mango 'Manila' en estado de madurez fisiológica.

Figure 2. Effect of high hydrostatic pressure on the external appearance of the 'Manila' mango in physiological ripeness.



150 MPa, se presentó la inmediata desaparición del color verde en la cáscara de los frutos, para dar lugar a coloraciones cercanas al naranja y al beige (Figura 1), lo que contribuyó a que durante el almacenamiento adquirieran una apariencia distinta a la de un fruto madurado normalmente. Estas manchas provocaron un cambio rápido en la evolución del color entre los días 6 y 9 del almacenamiento para los tratamientos de 5, 10 y 20 minutos, terminando en valores aún más bajos que el grupo testigo, dado que las manchas beige se tornaron a tonos marrones.

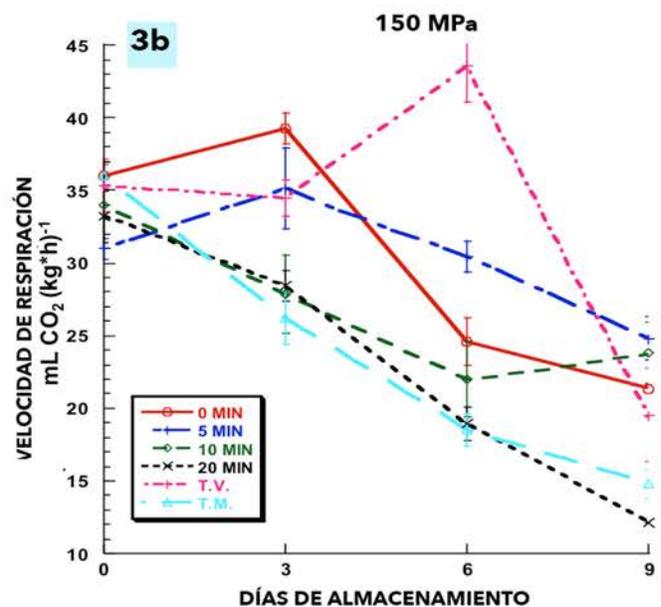
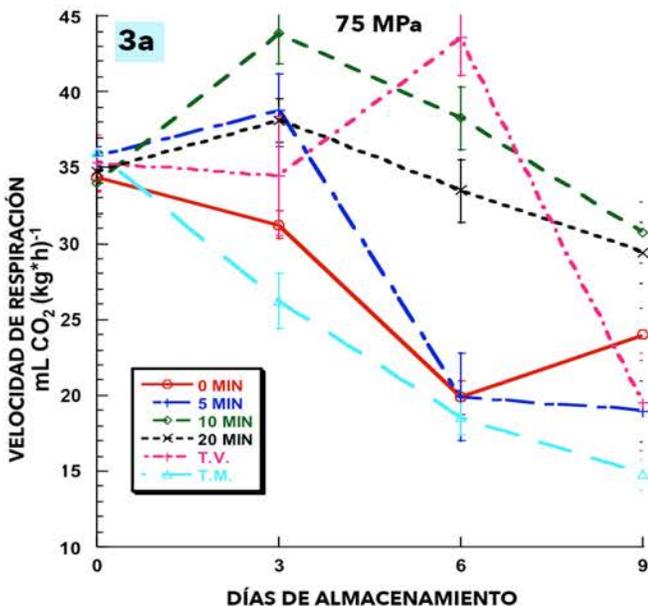
**Velocidad de respiración**

La velocidad de respiración inicial de los mangos en madurez comercial fue de 35 mL de CO<sub>2</sub> (kg\*h)<sup>-1</sup>, y disminuyó significativamente durante el almacenamiento, para alcanzar un valor final de 14.8 mL de CO<sub>2</sub> (kg\*h)<sup>-1</sup> (Figura 3a). En tanto que, la velocidad de respiración de los mangos en madurez fisiológica, tuvo un valor inicial de 35 mL de CO<sub>2</sub> (kg\*h)<sup>-1</sup>, que permaneció

**Figura 3.**

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la velocidad de respiración del mango 'Manila' durante el almacenamiento.

Figure 3. Effect of high hydrostatic pressure on the respiration rate of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.  
 TM = Mango en madurez comercial.

estable durante los primeros tres días y se incrementó para alcanzar su pico en el día 6, con un valor máximo de 43.6 mL de CO<sub>2</sub> (kg\*h)<sup>-1</sup>, decreciendo posteriormente hasta un mínimo de 17.8 mL de CO<sub>2</sub> (kg\*h)<sup>-1</sup> en el día 9, fecha en la cual ya tenía la madurez de consumo. Los tratamientos de presurización a 75 y 150 MPa (Figuras 3a y 3b) modificaron la velocidad de respiración del mango 'Manila'. En general, todos los mangos presentaron el pico de respiración en el día 3. Este pico de respiración fue de intensidad variada, desde muy notorio como en el caso de los mangos presurizados a 75 MPa por 5, 10 y 20 min o a 150 MPa por 0 y 5 min; o fue apenas detectable como en el caso de los mangos presurizados a 75 MPa por 0 min o a 150 MPa por 10 y 20 min (Figuras 3a y 3b). En todos los casos, los mangos presurizados presentaron una velocidad de respiración final igual o superior a la de los mangos testigos.

Los resultados obtenidos señalan que los tratamientos de presurización modificaron el metabolismo respiratorio del mango 'Manila', incluso a 75 MPa por 0 min. Resultados similares han sido reportados por Álvarez-Virrueta y col. (2012), quienes

encontraron que el mango 'Ataulfo' presurizado a 15, 30 o 60 MPa presentaron cambios en su metabolismo respiratorio en función del nivel de presurización, señalando como causas probables cambios estructurales a nivel celular, modificando la permeabilidad de la pared celular; o a nivel proteico, mediante la alteración de la estructura y función de enzimas involucradas en el metabolismo respiratorio.

#### Producción de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

Los mangos en madurez comercial presentaron un valor inicial de producción de etileno de 1 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup>, que decreció durante el almacenamiento, sin mostrar un pico o incremento, confirmando que su climaterio ya había sido alcanzado y estaban por iniciar el proceso de senescencia (Figuras 4a y 4b). Los mangos con madurez fisiológica, presentaron una producción de etileno inicial de 1.23 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup>, producción que incrementó durante los primeros tres días, alcanzando un valor máximo (pico climatérico) de 1.51 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup> en el día 3, para posteriormente descender drásticamente a 0.48 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup> en el día 6, y

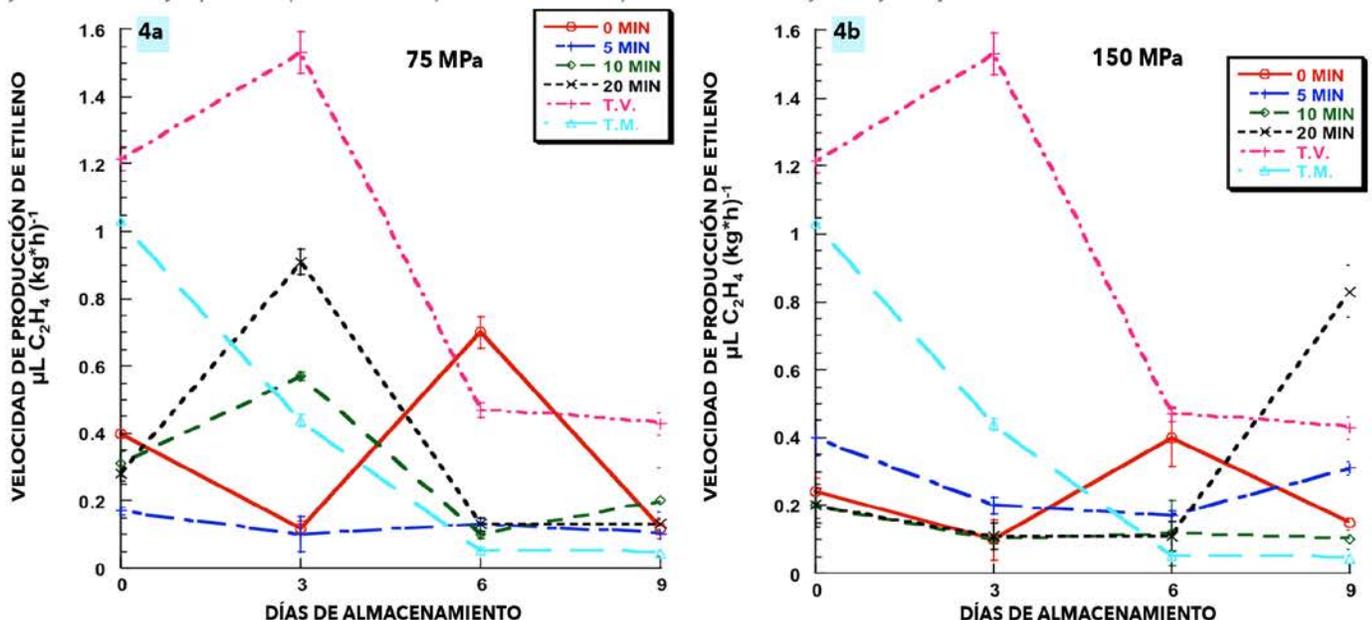
mantenerse constante en esa velocidad de producción hasta el día 9.

La presurización modificó la velocidad de producción de etileno de los mangos 'Manila', independientemente del nivel y tiempo de presurización empleado (Figuras 4a y 4b). En todos los casos a 75 MPa, la producción de etileno disminuyó de 1.2 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup> en el mango control, a un rango de 0.2 a 0.4 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup>, en el día 0 (inmediatamente después de haber sido presurizados). El efecto de la presurización en la velocidad de producción de etileno durante el almacenamiento varió dependiendo del nivel y tiempo de presurización. En los mangos presurizados a 75 MPa, los frutos presurizados por 0 min, presentaron una disminución en la velocidad de producción de etileno durante los primeros 3 días, para posteriormente presentar un pico climatérico en el día 6 (Figura 4a). Los mangos presurizados por 5 min mostraron el valor más bajo de velocidad de producción de etileno 2 µL de etileno (kg\*h)<sup>-1</sup>, el cual permaneció bajo sin presentar el incremento típico de los frutos climatéricos, asociado con el cambio de coloración. Los mangos

### Figura 4.

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la velocidad de producción de etileno del mango 'Manila' durante el almacenamiento.

Figure 4. Effect of high hydrostatic pressures on the production rate of ethylene of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.  
TM = Mango en madurez comercial.

presurizados por 10 y 20 minutos mostraron un comportamiento similar al del fruto control, con un pico climatérico en el día 3, pero siempre con valores muy inferiores de producción de etileno.

Los mangos presurizados a 150 MPa, presentaron un comportamiento diferente. En este nivel de presión, los mangos presurizados por 5 y 10 minutos no mostraron pico climatérico, en tanto que los mangos presurizados por 0 minutos mostraron un pico climatérico a los 6 días y los mangos presurizados por 20 minutos lo presentaron a los 9 días, pero siempre con valores inferiores al del fruto control (Figura 4b).

Álvarez-Virrueta y col. (2012), reportaron la disminución en la velocidad de producción de etileno en mango 'Ataulfo' presurizado a 30 y 60 MPa por 10 y 20 min, con un menor efecto al presurizarlos a 15 MPa. Este efecto estuvo asociado con una disminución en la producción de la enzima ACC oxidasa que cataliza la producción de etileno. Por su parte, Ikeda y col. (2000), reportaron un comportamiento similar en rebanadas de manzana presurizadas en un rango de

50 a 300 MPa con intervalos de 50 MPa, las cuales disminuyeron considerablemente su producción de etileno después del presurizado. Igualmente, estos autores reportan una disminución considerable en la actividad de la ACC oxidasa que cataliza la producción de etileno, y por consiguiente, una disminución en la producción de etileno en frutos de albaricoque japonés (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) desde los 5 MPa de presurizado.

#### Cambios en la acidez titulable

La presurización modificó la acidez inicial de los mangos (Figuras 5a y 5b). Los mangos en madurez fisiológica, presurizados a 75 MPa, mostraron una acidez inicial mayor que los mangos control con el mismo grado de madurez. En tanto que, a 150 MPa únicamente el mango presurizado por 0 min (solo hasta alcanzar el nivel de presión) mostró un valor inferior de acidez titulable inicial.

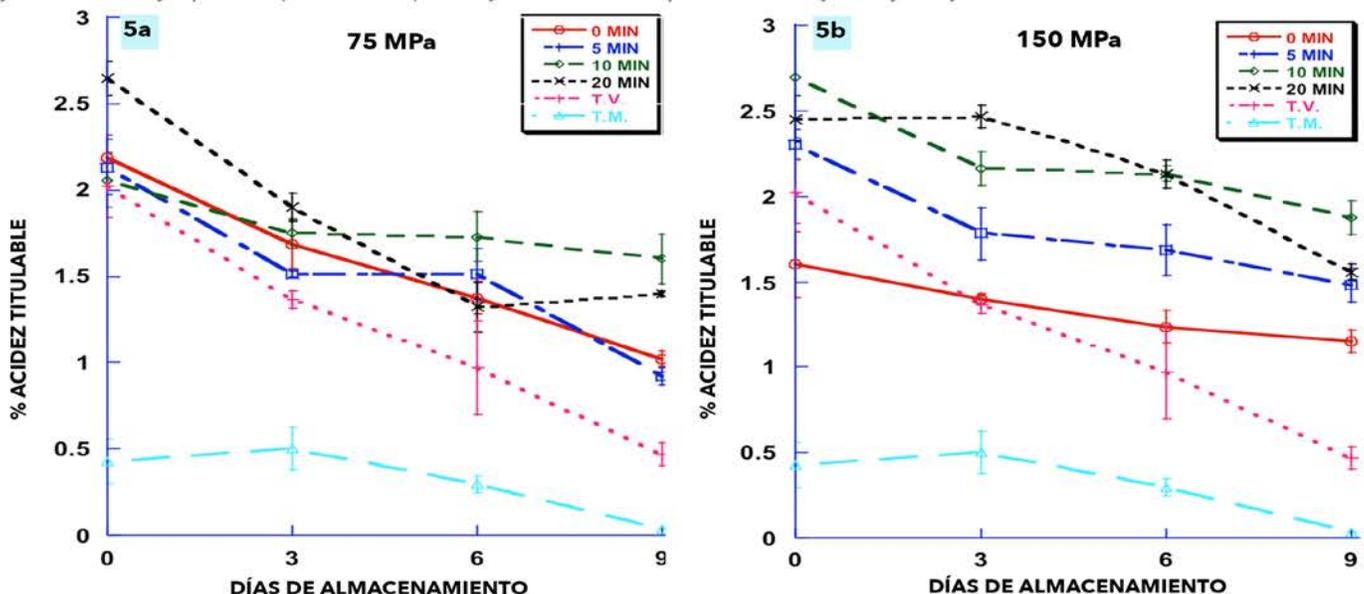
Durante el almacenamiento, la acidez titulable del mango control disminuyó gradualmente, pasando de 2.05 % a 0.52 % después de 9 días de almacenamiento, en tanto que, el mango en madurez comercial

disminuyó de 0.48 % a 0 % en el mismo período. Los mangos presurizados a 75 MPa mostraron una disminución de la acidez similar a la del mango control en madurez fisiológica, pero sus valores de acidez titulable siempre fueron mayores que el control. En el caso de los mangos presurizados a 150 MPa, también mostraron una tendencia a disminuir en su acidez titulable durante el almacenamiento, pero la pendiente mostrada fue menor que en el caso de los mangos presurizados a 75 MPa, indicando una mayor alteración en este cambio fisiológico, que se asocia con la calidad del fruto, ya que para el mango, la disminución de la acidez hasta cerca del 0.3 %, es uno de los principales parámetros que enmarcan el proceso de maduración y le confiere un sabor agradable (Osuna-García y col., 2002). La alteración en la disminución de la acidez titulable, podría estar asociada con los cambios en la velocidad de respiración inducidos por la presurización, ya que los ácidos orgánicos presentes en las frutas participan en el metabolismo respiratorio (Salisbury y Ross, 1992).

### Figura 5.

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en el porcentaje de acidez titulable del mango 'Manila' durante el almacenamiento.

Figure 5. Effect of high hydrostatic pressure in the percentage of titratable acidity of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.  
TM = Mango en madurez comercial.

## pH

La presurización modificó el cambio del pH de los mangos durante el almacenamiento, en forma similar al cambio de acidez titulable (Figuras 6a y 6b). Los mangos control en estado de madurez fisiológica mostraron un pH inicial de 3.1, que aumentó gradualmente los primeros 3 días, y en forma más rápida a partir del día 3, coincidiendo con el pico climatórico o velocidad máxima de respiración de este fruto, para alcanzar un pH de 4.7 después de 9 días de almacenamiento; en tanto que el mango en madurez comercial mostró un pH inicial de 4.5 que incrementó a 5.6 en ese mismo período de tiempo. En los mangos presurizados a 75 MPa el incremento del pH se mantuvo gradual y con valores por debajo del pH mostrado en el fruto control; en los mangos presurizados a 150 MPa (Figura 6b) los valores de pH finales fueron aún menores. El cambio de

pH durante el almacenamiento, inducido por la presurización, parece estar asociado con los cambios respiratorios, en forma similar al observado con el cambio de acidez titulable durante el almacenamiento.

## Sólidos solubles totales

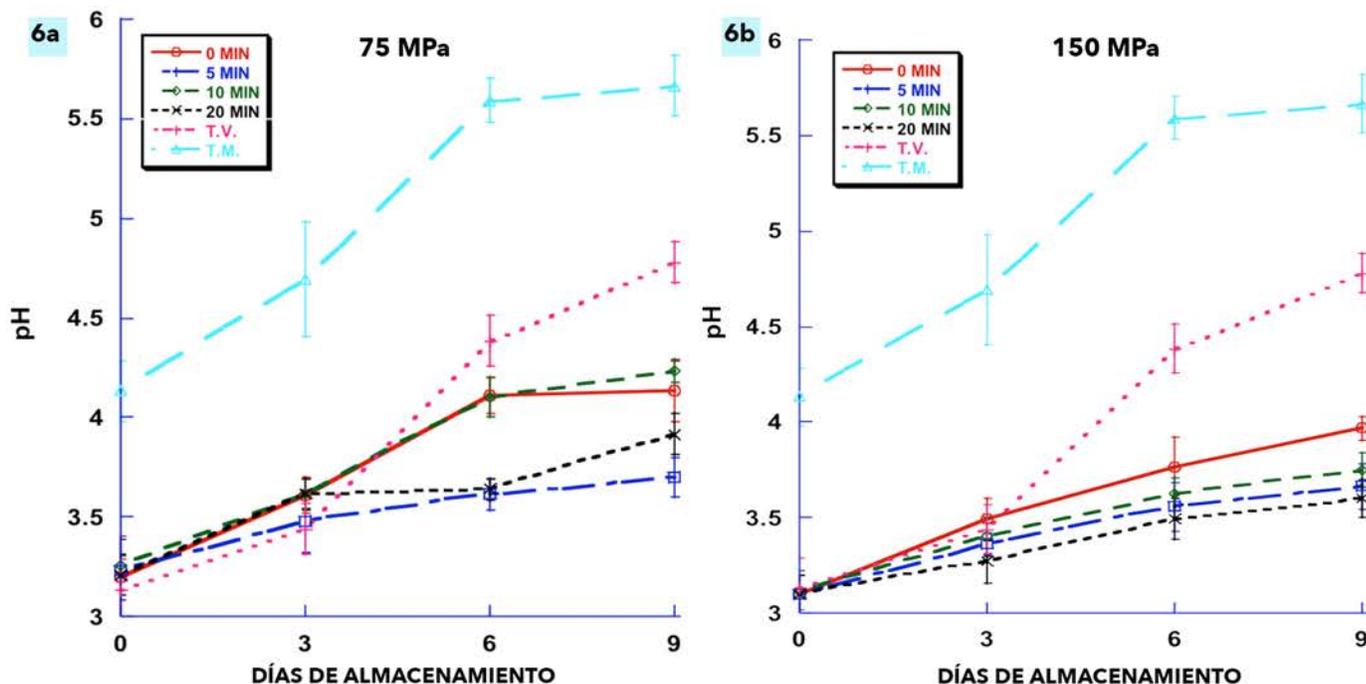
El contenido de sólidos solubles totales incrementó durante el almacenamiento de los mangos control en madurez fisiológica, pasando de 11.2 °Brix en el día 0, a 20.2 °Brix después de 9 días (Figura 7a). En tanto que, los mangos en madurez comercial se mantuvieron en el rango de los 17 a 20 °Brix. El incremento del contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento o maduración, influye directamente en el dulzor del mango y con ello en su calidad organoléptica, junto con la disminución de la acidez titulable y pH (Osuna-García y col., 2002).

La presurización modificó la producción de sólidos solubles influenciada principalmente por el nivel de presión usada. Los mangos presurizados a 75 MPa (Figura 7a), mostraron un incremento en el contenido de sólidos solubles durante los primeros 3 a 6 días, similar al del mango control en madurez fisiológica, pero este incremento no se sostuvo e incluso disminuyó, y al término de los 9 días, el contenido de sólidos solubles no superó los 16 °Brix. En los mangos presurizados a 150 MPa (Figura 7b), se inhibió la capacidad de formar sólidos solubles, alcanzando valores que variaron entre 9 y 14 °Brix; en general, se observó que a mayor tiempo de presurizado menor producción de sólidos solubles totales se obtuvo. La alteración en la producción de sólidos solubles totales en los mangos presurizados, está asociada con la baja actividad fisiológica, manifestada por la disminución en la velocidad de

## Figura 6.

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en el pH del mango 'Manila' durante el almacenamiento.

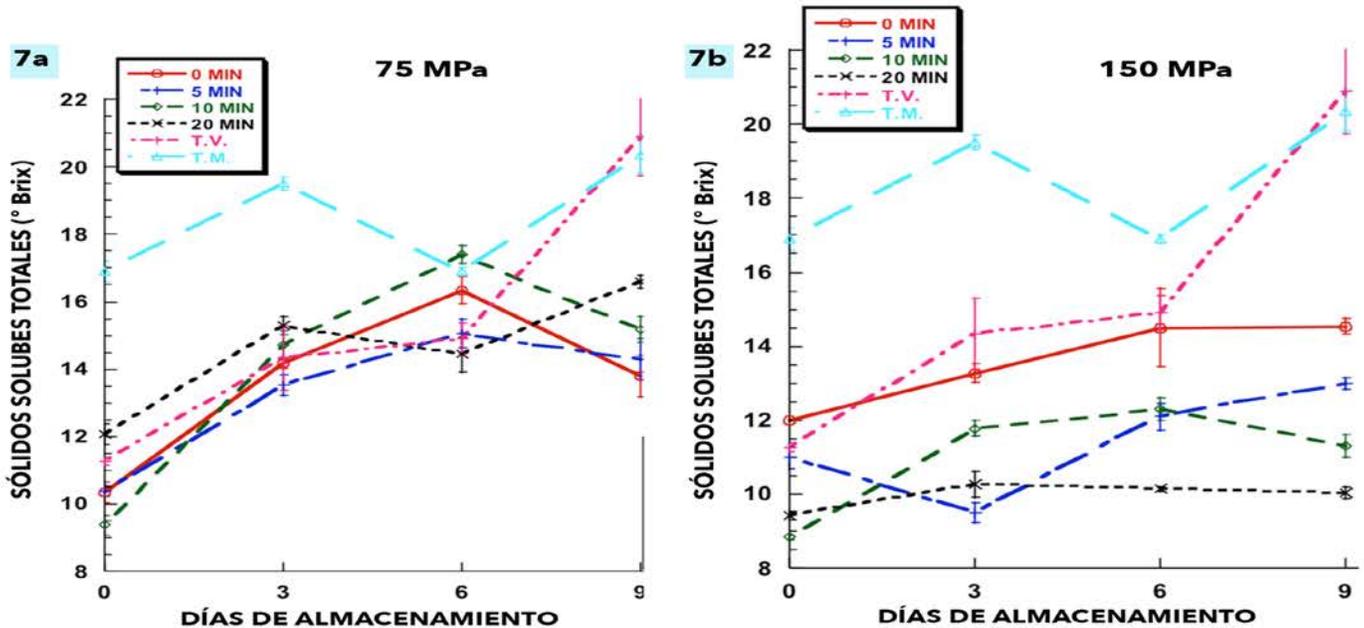
Figure 6. Effect of high hydrostatic pressures on the pH of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.  
TM = Mango en madurez comercial.

**Figura 7.**

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en el contenido de sólidos solubles totales del mango 'Manila' durante el almacenamiento.  
Figure 7. Effect of high hydrostatic pressures on the total soluble solids content of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.  
TM = Mango en madurez comercial.

respiración y de producción de etileno, lo que causa poca conversión de sustratos hacia carbohidratos, y enmarca una madurez incompleta. Este fenómeno ha sido observado en puré, trozos o frutos completos presurizados. Boynton y col. (2002), reportaron una disminución considerable de los sólidos solubles totales en mango Keitt pre-cortado sometido a presurizado (600 MPa/1 min); Butz y col. (2002), reportaron la disminución de sacarosa durante el almacenamiento en puré de frambuesa presurizado (600 MPa/1 min/25°C); Ikeda y col. (2000), reportaron una disminución de los sólidos solubles totales en rebanadas de manzana y papaya sometidas a presurizado (100-600 MPa/10 min/25 °C); por otra parte Rastogi y col. (2000), en sus investigaciones sobre piña deshidratada reportan una disminución en los sólidos solubles de piñas previamente presurizadas (100-500 MPa/10 min/25°C).

**Color interno**

El color interno de los mangos 'Manila' control, en estado de madurez comercial, mostró muy poca variación

durante el almacenamiento, pasando de un valor inicial de matiz (Hue, H\*), de 70.8 a 67.8, ambos valores en el rango del color anaranjado, característico de este fruto (Figura 8a). En tanto que, los mangos control en estado de madurez fisiológica, pasaron de un valor inicial de 85 en el día 0, a un valor de 76 en el día 9, lo que representa un cambio del color amarillo al color anaranjado, característico del fruto en madurez comercial. En los mangos presurizados a 75 MPa, se observó una tendencia a disminuir el valor del atributo H\* durante el almacenamiento, pero sin alcanzar el valor del mango control en madurez fisiológica. Este efecto fue aun más notorio en los mangos presurizados a 150 MPa (Figura 8b). La alteración en la formación del color por efecto de la presurización ha sido reportada, en mango 'Ataulfo' (Álvarez-Virrueta y col., 2012).

**Cambios en la firmeza**

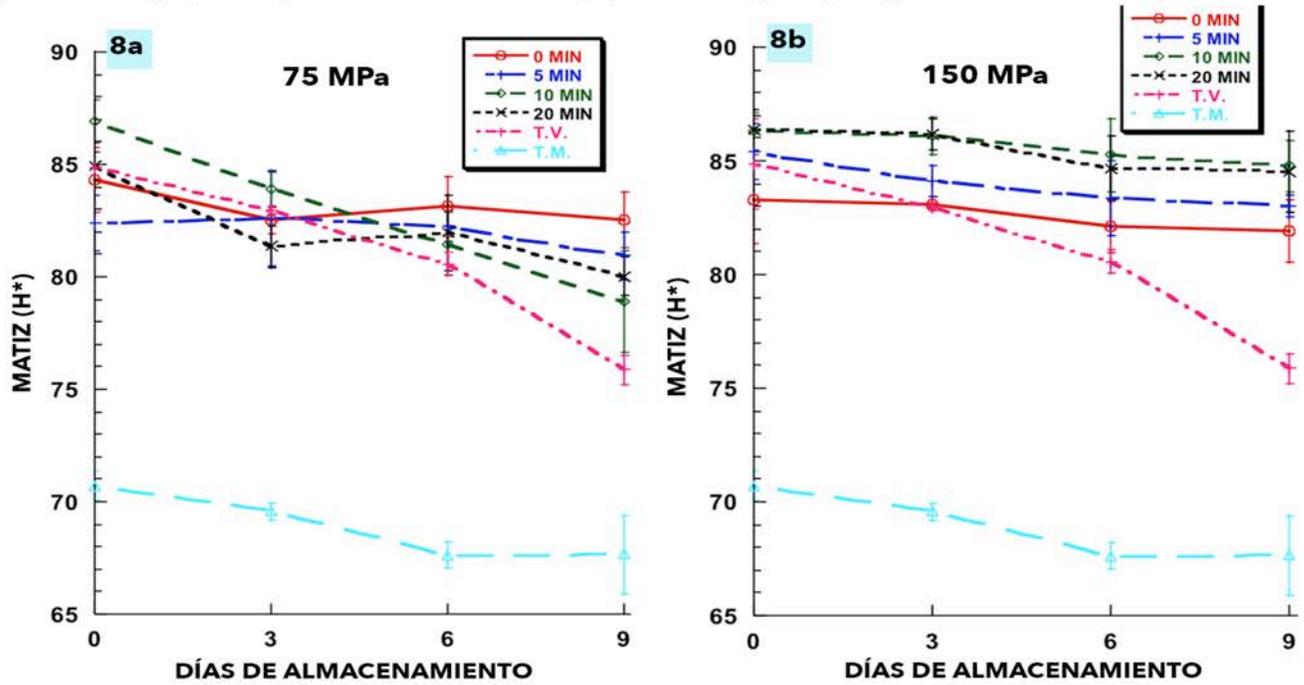
La firmeza de los mangos en madurez fisiológica disminuyó en forma gradual

y constante, pasando de una firmeza inicial de 13.5 kg/cm<sup>2</sup> en el día 0, a 0.5 kg/cm<sup>2</sup> después de 9 días de almacenamiento (Figura 9). Los mangos en madurez comercial no mostraron resistencia a la penetración, por lo que no pudo ser determinada la firmeza, dando valores constantes de 0 kg/cm<sup>2</sup>.

En los mangos presurizados, la pérdida de firmeza mostró un comportamiento similar al del mango control en madurez fisiológica. Los mangos presurizados por 0 min mostraron valores iniciales de firmeza menores (13.5 kg/cm<sup>2</sup>) al del fruto control, en tanto que, los mangos presurizados por 5 minutos mostraron valores iniciales ligeramente superiores (15 kg/cm<sup>2</sup>). Después de los 9 días de almacenamiento, sólo los mangos presurizados por 0 y 5 minutos permanecieron con valores de firmeza superiores al control, cercanos a los 5 kg/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, en los mangos presurizados a 150 MPa (Figura 9b), se observó que sólo los mangos presurizados por 5 minutos mostraron un valor menor de firmeza

**Figura 8.**

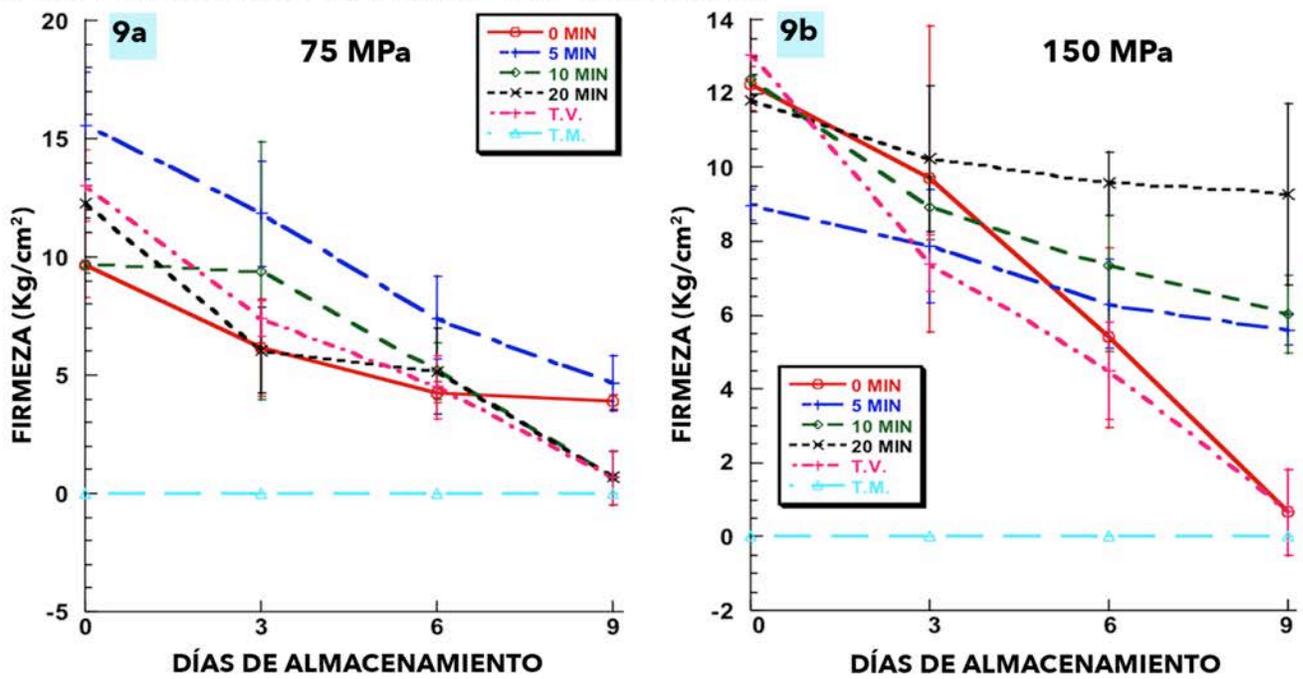
Efecto de las altas presiones hidrostáticas en el atributo de color matiz (Hue, H\*) del mango 'Manila' durante el almacenamiento.  
 Figure 8. Effect of high hydrostatic pressure on the color attribute Hue (H\*) of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.  
 TM = Mango en madurez comercial.

**Figura 9.**

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la firmeza del mango 'Manila' durante el almacenamiento.  
 Figure 9. Effect of high hydrostatic pressure on the firmness of 'Manila' mango during storage.

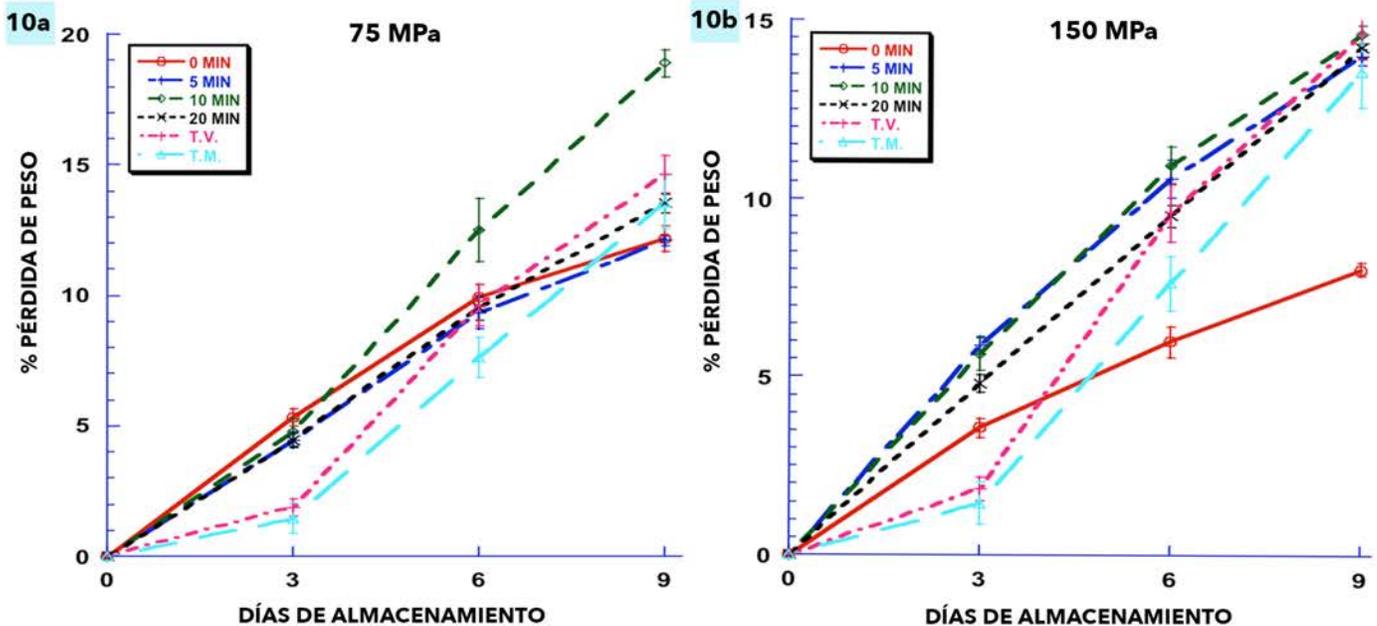


TV = Mango en madurez fisiológica.  
 TM = Mango en madurez comercial.

**Figura 10.**

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la pérdida de peso del mango 'Manila' durante el almacenamiento.

Figure 10. Effect of high hydrostatic pressure on the on the weight of 'Manila' mango during storage.



TV = Mango en madurez fisiológica.

TM = Mango en madurez comercial.

que los mangos control. Durante el almacenamiento, sólo los mangos presurizados por 0 minutos mostraron un comportamiento similar al control, en tanto que, los mangos presurizados por 5, 10 y 20 minutos, mostraron valores de firmeza más altos, indicando que se alteró el proceso fisiológico que le da al mango la suavidad característica durante su maduración. Este cambio, en la firmeza final, puede estar asociado con la inhibición de la actividad de la enzimas pectinasas, inhibiendo la suavización del fruto.

El comportamiento del mango 'Manila' durante la presurización, fue diferente al del mango 'Ataulfo' reportado previamente, en el que se observó una mayor velocidad en la disminución de la firmeza de los mangos presurizados durante el almacenamiento (Álvarez-Virrueta y col., 2012).

#### Pérdida fisiológica de peso

Los mangos control en estados de

madurez fisiológica y comercial, presentaron una disminución constante de pérdida de peso durante el almacenamiento. Esta pérdida de peso fue más rápida en los mangos presurizados a 75 y 150 MPa durante los primeros 6 días (Figuras 10a y 10b). Sin embargo, en los mangos presurizados a 75 MPa el valor final de pérdida de peso de los mangos presurizados (11.5-13 %), fue menor que la pérdida de peso del mango control en madurez fisiológica (13.5 %) después de 9 días. Solo el mango presurizado por 10 minutos mostró una mayor pérdida de peso (19 %). En los mangos presurizados a 150 MPa, la pérdida de peso final fue similar a la que presentaron los mangos control en madurez fisiológica (14 %). Sólo el mango presurizado por 0 minutos, mostró una menor pérdida de peso, cercana al 8 %. La alteración en la modificación de la velocidad de pérdida de peso está asociada con la modificación de la estructura de la pared celular de las células de la cáscara del mango, causada por la presurización, lo

que dio como resultado en una mayor cantidad de agua perdida durante la respiración. Este comportamiento ha sido reportado previamente para mango 'Ataulfo' (Álvarez-Virrueta y col., 2012).

#### Cambios en la pulpa

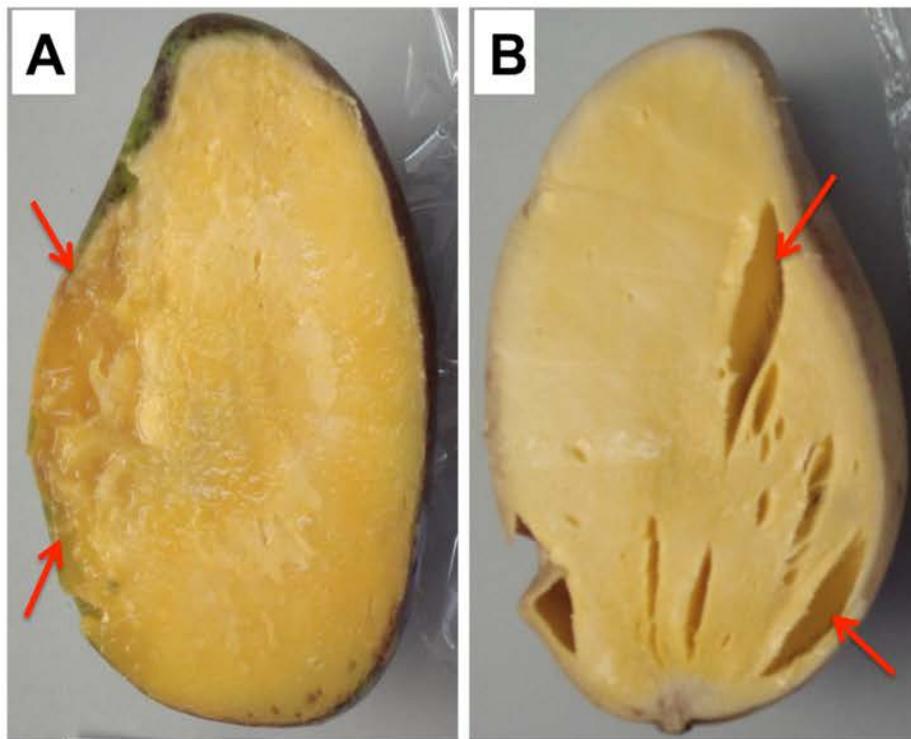
La pulpa de algunos de los frutos presurizados mostró la presencia de zonas con apariencia de gel (Figura 11a). Este fenómeno podría estar asociado con la ruptura de membranas celulares, lo que genera una micro redistribución del agua, acompañada por la gelatinización de biopolímeros celulares (Sila y col., 2008).

En algunos mangos presurizados se presentaron cavidades o hendiduras (Figura 11b), conocidas como tejido esponjoso y su presencia se ha reportado en mango 'Ataulfo' presurizado con altos niveles de presión (Álvarez-Virrueta y col., 2012). La formación del tejido esponjoso en mango 'Alfonso' se ha asociado con una disminución de la actividad de la ACC oxidasa, así como,

**Figura 11.**

Efecto de las altas presiones hidrostáticas en la apariencia interna de mangos 'Manila' en madurez fisiológica durante el almacenamiento.

Figure 11. Effect of high hydrostatic pressure in internal appearance of 'Manila' mango at physiological maturity during storage.



con alteraciones en el metabolismo del almidón, provocando una disminución en la concentración de azúcares (Nagamani y col., 2010). A este respecto, se ha reportado que los tratamientos de irradiación cuarentenaria pueden inducir el desarrollo de tejido esponjoso durante la maduración de mangos 'Alfonso' (Mercado-Silva, 2011).

**CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos indican claramente, que el mango 'Manila' es muy susceptible a los tratamientos de presurización que se han propuesto como método cuarentenario alternativo para el control de las moscas de la fruta *Anastrepha ludens* y *A. obliqua* que infectan a los mangos. El método cuarentenario propuesto implica procesar los mangos a 90 MPa por 9 min a 45 °C, sin embargo, el mango 'Manila' presenta

alteraciones fisiológicas severas incluso a 75 MPa por 5 min. Estas alteraciones incluyen cambios en la velocidad de respiración, producción de etileno involucradas en los procesos de maduración y que se manifiestan como cambios en la apariencia externa e interna, color de la pulpa, acidez y nivel de dulzura que determinan su aceptación organoléptica, así como una mayor pérdida de peso. El efecto negativo de las altas presiones estuvo asociado principalmente al nivel de presión y posteriormente al tiempo de presurizado. Los daños inducidos estuvieron asociados con la descompartmentalización de la estructura celular y la afectación de la permeación de las membranas celulares. Pero, también se observaron cambios asociados con los procesos metabólicos, lo que indica desnaturalización de enzimas, modificando su función

biológica. Al comparar los presentes resultados con otros reportados en la literatura, se puede concluir que el mango 'Manila' pareció verse más afectado por los procesos de presurización que los mangos 'Ataulfo'. Sin embargo, los mangos variedad 'Tommy Atkins' parecen mostrar mayor resistencia a las APH.¶

**REFERENCIAS**

- Álvarez-Virrueta, D. R., García-López, E. G., Montalvo-González, E., Ramírez, J. A., Mata-Montes de Oca, M., and Tovar-Gómez, B. (2012). Effect of high hydrostatic pressure on postharvest physiology of 'Ataulfo' mango. *CyTA Journal of Food*. 10 (3): 173-181.
- Alviar, J. y Torres S. C. X. (2002). *Manual Agropecuario*. Biblioteca del campo. Fundación hogares juveniles campesinos. Tomo II. Bogotá Colombia: Editorial IBALPE. 1192Pp.
- AOAC (1990). *Official Methods of Analysis*. (Ed. Kenneth H.) 15th. Edition. Published by The Association of Official Analytical Chemists. Vol II. Arlington, Virginia, U.S.A. 1298 Pp.
- Ben-Yehoshua, S., Beaudry, R. M., Fishman, S., Jayanty, S. y Mir, N. (2005). *Modified atmosphere packaging and controlled atmosphere storage*. En: Ben-Yehoshua, S. (Ed.). *Environmentally friendly technologies for agricultural produce quality (61-112)*. Boca Raton, FL, USA. Taylor and Francis Group LLC.
- Boyton, B. B., Sims, C. A., Sargent, S., Balaban, M. O. y Marshall, M. R. (2002). Quality and stability of pre-cut mangos and carambolas subjected to high pressure processing. *Journal of Food Science*. 67(1): 409-415.
- Butz, P., Edenharter, R., Fernandez,

- G.A., Fister, H., Merkel, C. y Tauscher, B. (2002). Changes in functional properties of vegetables induced by high pressure treatment. *Food Research International*. 35: 295-300.
- Candelario-Rodríguez, H. E., Hurtado-González, M., Morales-Castro, J., Velázquez, G., Ramírez, J. A., Loera-Gallardo, J., and Vázquez, M. (2009). Efficacy of high hydrostatic pressure as a quarantine treatment to improve the quality of mango fruits infested by the Mexican fly *Anastrepha ludens*. *CyTA Journal of Food*. 7: 135-142.
- Candelario-Rodríguez, H. E., Velázquez, G., Castañón-Rodríguez, J. F., Ramírez, J. A., Montoya, P., and Vázquez, M. (2010). Resistance of Mexican Fruit Fly to Quarantine Treatments of High Hydrostatic Pressure Combined with Heat. *Foodborne Pathogens and Disease*. 7(8): 959-966.
- Castañón-Rodríguez, J. F., Vargas-Ortiz, M. A., Montoya, P., García, H. S., Velázquez, G., Ramírez, J. A., and Vázquez, M. (2011). Resistance of Mexican Fruit Fly to Quarantine Treatments of High-Pressure Processing Combined with Cold. *Foodborne Pathogens and Disease*. 8(7): 815-23.
- Cheftel, J. C. (1995). High pressure, microbial inactivation and food preservation. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture*. 81(1): 13-38.
- Ikeda, F., Baba, T., Como, G., Ohtsubo, T. y Lizada, M. C. C. (2000). Effect of hydrostatic pressure on postharvest physiology in fruit. *Acta Horticulturae*. 518: 101-106.
- Krebbes, B., Matser, A. M., Koets, M., and Van-den-Berg, R. W. (2002). Quality and storage-stability of high-pressure preserved green beans. *Journal of Food Engineering*. 54: 27-33.
- Mercado-Silva, E. (2011). Ionizing radiation as quarantine treatments in fruits. En J.A. Ramírez, and M. Vázquez (Eds.), *Advances in post-harvest treatments and fruit quality and safety* (pp. 19-30). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Mitcham, E. J. y McDonald, R. E. (1992). Cell Wall modification during ripening of Keitt and Tommy Atkins mango fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(6): 919-924.
- Nagamani, J. E., Shivashankara, K. S., and Roy, T. K. (2010). Role of oxidative stress and the activity of ethylene biosynthetic enzymes on the formation of spongy tissue in 'Alphonso' mango. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 47: 295-299.
- NMX-FF-014-1982 (1982). Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de la resistencia a la penetración. Normas mexicanas. Dirección general de normas. México. 3 Pp.
- Ortega-López, V. G., Ramírez, J. A., Tovar-Gómez, B., Mata-Montes-de-Oca, M., Montalvo-González, E. (2013). Effects of high hydrostatic pressure on antioxidants content of 'Ataulfo' mangoes. Mayo, 2012. *Ciencia e Tecnología Alimentarie (Brasil)*. 33 (3): 561-568.
- Osuna-García, J. A. Guzmán-Robles, M. L., Tovar-Gómez, B., Mata-Montes-de-Oca, M., Vidal-Martínez, V. A. (2002). Calidad del mango 'Ataulfo' producido en Nayarit, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25 (4): 367-374.
- Préstamo, G. y Arroyo, G. (1998). High hydrostatic pressure effects on vegetable structure. *Journal of Food Science*. 63(5): 878-881.
- Ramírez, J. A., Castañón-Rodríguez, J. F., Velázquez, G., Montoya, P., and Vázquez, M. (2012). Resistance of West Indian fruit fly *Anastrepha obliqua* Macquart to quarantine treatments of high hydrostatic pressure combined with cold. *Food and Bioprocess Technology*. 5 (6): 2540-2547.
- Rastogi, N. K., Angersbach, A., Niranjana, K. y Knorr, D. (2000). Rehydration Kinetics of high pressure pretreatment and osmotically dehydrated pineapple. *Journal Food Science*. 65: 838-841.
- Salisbury, B. F. y Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. 4th ed. Wadsworth, Belmont: ISBN 0534151620.
- Saltveit, M. E. y Yang, S. F. (1987). *Ethylene*. En Rivier, L. and Crozier, A. (eds.) *Principles and Practices of Plant Hormone Analysis* (Chapter 6. 367-401. Vol. 2). New York: Academic Press.
- Shimada, S., Andou, M., Naito, N., Yamada, N., Osumi, M., and Hayashi, R. (1993). Effects of hydrostatic pressure on the ultrastructure and leakage of internal substances in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 40: 123 - 131.
- Sila, D. N., Duvetter, T., De-Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., Moates, G., Hills, B., Waldron, K., Hendrickx, M., and Van-Loey, A. (2008). Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*. 19(6): 309-319.
- Slaughter, D. C. (2009). *Nondestructive Maturity Assessment Methods for Mango: A Review of Literature and Identification of Future Research Needs*. Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis. 18Pp.
- Vargas-Ortiz, M. A., Quintana-Castro, R., Oliart-Ros, R. M., De la Cruz-Medina, J., Ramírez de León, J. A., García, H. S. (2013a). High hydrostatic pressure induces synthesis of heat-shock proteins and trehalose-6-phosphate synthase in *Anastrepha ludens* larvae. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 82(4):196-212.
- Vargas-Ortiz, M. A., De la Cruz-Medina, J., Espinosa de los Monteros, J. J., Oliart, R. M., Rebolledo-Martínez, A., Ramírez de León, J. A., García, H. S. (2013b). Effect of High Hydrostatic Pressure on the Physiology of 'Manila Mango'. *Plant Foods for Human Nutrition*. 68:137-144.