

## Diseño, fabricación y evaluación del prototipo de simulación de esfuerzos dinámicos en durazno (*Prunus persica*)\*

### Design, fabrication and evaluation of a simulation prototype of dynamic stress on peach (*Prunus persica*)

María Guadalupe Victoria-Escamilla<sup>1§</sup>, Sergio Humberto Chávez Franco<sup>1</sup>, Yareli Yazmín Mendoza Rodríguez<sup>1</sup>, Jorge Nery Molina Gómez<sup>2</sup> y Dora María Sangerman-Jarquín<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5 Montecillo, Estado de México. Tel. (595)9520200. (sergiocf@colpos.mx; yareli.mendoza@colpos.mx).  
<sup>2</sup>Fideicomiso de Riesgo Compartido, Av. Cuauhtémoc No. 1230 piso 15. Col. Santa Cruz Atoyac, México, D. F. C. P. 03300. Delegación Benito Juárez. Tel. 55-50-621-200. Ext. 31076. (molina.jorge@colpos.mx).  
<sup>3</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Lechería, km 18.5. A. P. 10. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México. Tel. y Fax. 5959212681. (sangerman.dora@inifap.gob.mx).  
<sup>§</sup>Autora para correspondencia: victoria.maria@colpos.mx.

#### Resumen

Los frutos de durazno (*Prunus persica*) tienen corta vida de anaquel, su actividad metabólica se ve afectada por la presencia de daños mecánicos, este daño físico puede ser causado por impacto o vibraciones durante el transporte y en general por el manejo después de cosechar las frutas, provocando pérdidas de hasta 40% en su mayoría. En este trabajo se diseñó, fabricó y evaluó un prototipo de simulación de esfuerzos dinámicos en durazno en dos variedades (Paquimé y Oro de Tlaxcala), a diferentes grados de madurez y se aplicaron diferentes cargas (Paquimé testigo, 50 y 14 kg; Oro testigo, 100 y 50 kg). Se midió pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales, color y respiración por flujo dinámico. Explicando con modelos de regresión no lineal los parámetros de firmeza y sólidos solubles totales, su comportamiento en función de la carga. En color se encontraron diferencias significativas (Tukey,  $\alpha=0.05$ ) entre variedades y entre tratamientos de diferentes variedades para el índice de saturación y ángulo hue. La respiración presentó disminución en sus tasas de crecimiento en función del tiempo.

**Palabras clave:** *Prunus persica*, cargas, daño mecánico, esfuerzos dinámicos, postcosecha.

#### Abstract

Peach fruit (*Prunus persica*) have a short shelf life, their metabolic activity is affected by the presence of mechanical damage; the physical damage can be caused by impact or vibration during transportation and postharvest handling, causing losses of up to 40%. In the present work was designed, fabricated and evaluated a simulation prototype of dynamic stress in two peach varieties (Paquime and Oro from Tlaxcala), at different stages of ripening and different loads were applied (Paquime control, 50 and 14 kg; Oro control, 100 and 50 kg). Weight loss, firmness, total soluble solids, color and respiration using continuous air flow method dynamic, were measured. Explaining with nonlinear regression models the firmness and total soluble solids parameters, their behavior is in function of the load. Color showed significant differences (Tukey,  $\alpha=0.05$ ) between varieties and treatments of different varieties to the saturation index and hue angle. Respiration decreased on its growth rate versus time.

**Key words:** *Prunus persica*, load, mechanical damage, dynamic efforts, postharvest.

## Introducción

Los esfuerzos dinámicos han sido poco evaluados en frutos, debido a la falta de equipo para la medición de éstos en los productos agrícolas. Se han hecho estudios de esfuerzos estáticos con ayuda del Instron (Villaseñor, 2006); sin embargo, no son suficientes ya que éste aparato detiene la aplicación de fuerza al llegar al punto de fractura del fruto. Las fuerzas de gravedad aumentan cuando los frutos son transportados por carretera, debido a diversos factores como: topes, baches, vibradores, curvas pronunciadas, pendientes, etcétera. Los cuales producen daños mecánicos en los frutos y se afecta considerablemente el fruto por efecto de la carga adicional extraordinaria generada por fuerzas gravitacionales durante su transporte.

Las frutas son organismos vivos y su vida útil es afectada por temperatura, humedad, composición de la atmósfera circundante, manejo durante y después de la cosecha, ataque por organismos, entre otros (Thompson, 1996). Los impactos son la fuente de daño mecánico más común durante la venta de frutos (Knee y Miller, 2000), y es importante conocer el efecto que producen sobre la fisiología, bioquímica y calidad del producto.

El durazno es un fruto climatérico, continúa su proceso de maduración aún después de su cosecha. Este tipo de frutos dependen de muchos factores para determinar su manera de maduración viéndose afectado por la presencia de daños mecánicos, los cuales afectan su apariencia y aceleran su descomposición. Es altamente perecedero y se desea que en su transporte sufra el menor daño posible y de este modo no afecte su metabolismo normal.

La aceptación del consumidor hacia los frutos primero responde a los sentidos de la vista y el tacto, y posteriormente, a su percepción en la boca, momento en que evalúa la dureza o firmeza, elasticidad, harinosidad y la jugosidad (Sistrunk, 1985). Para el distribuidor y el comerciante final, la textura es también un atributo importante, ya que debe permitir el manejo y el transporte de la fruta sin daños por magullamiento (Crisosto, 1994). Respecto al sabor, las frutas con alta cantidad de sólidos solubles, son en general las de mayor aceptación, si bien no se ha establecido un nivel mínimo para este parámetro (Crisosto y Kader, 2000). El objetivo final de la producción, manejo y distribución de frutas y vegetales frescos es satisfacer a los consumidores(as), estando relacionado a la calidad del producto (Shewfelt, 1999).

## Introduction

Dynamic stresses have been poorly evaluated in fruits, due to lack of equipment to measure these in agricultural products. Studies of static efforts have been done using Instron (Villaseñor, 2006); however, these are not enough because this equipment stops the application of force when reaching point of fracture of the fruit. Gravity forces increase when the fruit are transported by road, due to various factors such as speed bumps, curves, slopes, etc. Which causes mechanical damage and the fruit is considerably affected by effect of the additional load generated by gravitational forces during transportation.

Fruits are living organisms and their shelf life is affected by temperature, humidity and composition of the surrounding atmosphere, handling during and after harvest, attack by organisms, among others (Thompson, 1996). Impacts are the most common source of mechanical damage during the sale of fruits (Knee and Miller, 2000), and it is important to know the effects over the physiology, biochemistry and product quality.

Peach is a climacteric fruit, which's ripening process, continues even after harvesting. This type of fruit depends on many factors to determine the way it ripens; being affected by the presence of mechanical damage, which affects appearance and accelerates decomposition. It is highly perishable and is desired that during transport suffers the least damage and thus does not affect its normal metabolism.

The consumer acceptance to the fruits, first responds to the senses of sight and touch, and then in their perception, in the mouth when it evaluates the hardness or firmness, elasticity, mealiness and juiciness of the fruit (Sistrunk, 1985). For the distributor and final merchant, the texture is also an important attribute because it should allow the handling and transportation of the fruit without bruising damage (Crisosto, 1994). Regarding to taste, fruits with high soluble solids, are generally the most widely accepted; although it has been established a minimum standard for this parameter (Crisosto and Kader, 2000). The final objective of the production, management and distribution of fresh fruits and vegetables is to satisfy the consumers, being related to product quality (Shewfelt, 1999).

The damaged tissue of the fruit quickly darkens. When enzymes are involved there is enzymatic browning which occurs when the damaged tissue is in contact with the air, which occurs similarly in the darkening of apples, pears, peaches, cherries, strawberries. Another important aspect of

El tejido dañado del fruto se oscurece rápidamente. En el caso de que participen enzimas se tiene un oscurecimiento enzimático, el cual aparece cuando el tejido dañado está en contacto con el aire, lo que ocurre similarmente en el oscurecimiento de manzanas, peras, duraznos, cerezas y fresas. Otro aspecto importante del daño es que en los tejidos dañados la respiración se hace más intensa, hay un mayor consumo de oxígeno (Giörgy, 1986), y durante la respiración, los azúcares y otros productos de almacenamiento de las frutas se consumen y contribuyen a la pérdida del valor alimenticio y de las reservas, consecuentemente la calidad sensorial se ve afectada (Crisosto *et al.*, 1993).

Conceptos como firmeza de frutas (Mohsenin, 1970; Fekete, 1994; y Watada, 1995), resistencia del fruto a daños mecánicos postcosecha, la sensibilidad de frutos a diferentes niveles de carga y comportamiento de la respiración al paso del tiempo (dinámica), son importantes a considerar en el transporte y manejo postcosecha de durazno. Otros investigadores como Barbosa *et al.* (2003), Gutiérrez *et al.* (2007), Crisosto *et al.* (1998), Valero y Ruiz (1996) definen la firmeza como el mejor indicador a nivel práctico para determinar la maduración de una fruta en sus diferentes etapas, niveles óptimos de consumo y transporte, sistemas de procesamiento y manejo del producto.

La determinación de las propiedades biomecánicas (límite elástico, deformación plástica, resistencia al corte) permite conocer parámetros útiles que indiquen la resistencia del fruto al daño mecánico y cómo mejorar su manejo postcosecha (Chávez *et al.*, 2000). Para poder evaluar el efecto del transporte sobre los productos agrícolas, se puede realizar mediante una simulación del transporte o en pruebas reales en los vehículos de transporte comercial durante su transportación. El mejor método indudablemente es el del transporte en condiciones reales; sin embargo es difícil controlar las variables bajo estas condiciones por la cantidad de equipo que se requiere para hacer los estudios. Con base en ello y a la escasa información de esfuerzos dinámicos estudiados en frutos postcosecha el presente trabajo se realizó en laboratorio con el propósito de analizar el comportamiento fisiológico de frutos de durazno al ser sometidos a esfuerzos dinámicos.

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de Fisiología Postcosecha (coordenadas geográficas del laboratorio: 19° 27' 45.56" latitud norte, 98° 54' 14.45" longitud oeste y

damage is that in damaged tissues the respiration becomes more intense, there is an increase in oxygen consumption (Giörgy, 1986), and during respiration, sugars and other storage products from fruits are consumed and contribute to the loss of nutritional value and reserves, consequently sensory quality is affected (Crisosto *et al.*, 1993).

Concepts like fruit firmness (Mohsenin, 1970; Fekete, 1994, and Watada, 1995), resistance of fruit to mechanical damage, fruit sensitivity to different levels of load and respiration behavior over time (dynamic) are important to consider during transportation and postharvest handling in peach. Other researchers such as Barbosa *et al.* (2003), Gutiérrez *et al.* (2007), Crisosto *et al.* (1998), Valero and Ruiz (1996) define firmness as the best indicator to determine fruit ripening at different stages, optimal levels of consumption and transport, processing systems and product handling.

The determination of biomechanical properties (yield strength, plastic deformation, and resistance to cut) allows to know useful parameters that indicate fruit resistance to mechanical damage and to improve post-harvest handling (Chávez *et al.*, 2000). In order to evaluate the effect of transportation on agricultural products, it can be performed by a transport simulation or in real tests on commercial transport vehicles during transportation. The best method is undoubtedly the actual conditions of transportation; however it is difficult to control the variables under these circumstances due to the amount of equipment required to do the studies. Based on this and to the limited information on dynamic stress studied in fruit postharvest, the present work was conducted in the laboratory in order to analyze the physiological behavior of peach fruit when subjected to dynamic stresses.

## Materials and methods

The experiment was conducted in the laboratory of Postharvest Physiology (lab geographical coordinates: 19° 27' 45.56 "N, 98° 54' 14.45" west longitude and altitude 2 245 masl) from the Graduate College (Colegio de Postgraduados), located at km 36.5 of Texcoco-Mexico road, Montecillo, State of Mexico. Geographical coordinates of the Graduate College entrance: 19 ° 28' north and 98° 53' 44 " west.

The equipment and accessories used to install the equipment created were: air compressor, plastic bottles, latex and polyethylene hoses, gas mixer board with flow and constant pressure, CO<sub>2</sub> meter, data logger, nitrogen tank.

altitud 2 245 msnm) del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 36.5 de la carretera Texcoco-México, Montecillo, Estado de México. Coordenadas geográficas de la entrada del Colegio de Postgraduados: 19° 28' latitud norte y longitud oeste 98° 53' 44".

Los equipos y accesorios utilizados para instalar el equipo creado fueron: compresor de aire, frascos de plástico, mangueras látex y polietileno, tablero mezclador de gases con flujo y presión constante, medidores de CO<sub>2</sub>, data logger, tanque de nitrógeno.

Los frutos de duraznos utilizados fueron de las variedades Paquimé (hueso despegado) y Oro de Tlaxcala (hueso pegado). Los primeros fueron adquiridos en la central de abastos de Ecatepec en estado maduro, los segundos adquiridos en el mercado de Texcoco en estado de madurez fisiológica, posteriormente llevados al laboratorio de Fisiología Poscosecha del Colegio de Postgraduados, seleccionados de acuerdo a tamaño, uniformidad de madurez, sanidad y libres de daños. Fueron almacenados en un refrigerador a 9 °C.

Se utilizaron dos variedades de durazno, y dos tratamientos para cada variedad y un testigo. Para los frutos Paquimé se utilizó un testigo con 9 frutos, un tratamiento aplicando 50 kg de carga a 9 frutos y otro de 14 kg a 10 frutos, los duraznos fueron acomodados en una sola capa dentro de la maya receptora donde fueron sometidos a diferentes cargas. El número de frutos por tratamiento dependerá de sus dimensiones físicas, es decir, con frutos pequeños se necesitaron mas frutos para cubrir la capa inferior dentro de la malla receptora. En el caso de los frutos Oro de Tlaxcala se utilizó un testigo con 9 frutos, un tratamiento de 100 kg a 8 frutos y uno más de 50 kg a 8 frutos.

Las variables respuesta evaluadas fueron: peso de los frutos (g), color (L, a, b), firmeza (N), sólidos solubles totales (°Brix), respiración (mLCO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). La evaluación de días para cada tratamiento varía de acuerdo a las condiciones del fruto, los testigos que permanecieron durante los dos tratamientos de aplicación de carga para cada variedad de durazno.

Los datos de pérdida de peso fueron graficados porcentualmente al tercer día de aplicación de cada uno de los 6 tratamientos. En el caso de los datos de diámetro polar, sólidos solubles totales y firmeza se graficaron todos los puntos y se utilizó un modelo de regresión no lineal para demostrar su comportamiento.

The peach varieties used, were Paquime (off seed) and Oro (stuck seed) from Tlaxcala. The first were purchased in the central market of Ecatepec when ripe, the latter were acquired in the Texcoco market at physiological ripeness, then taken to the laboratory of Postharvest Physiology from the Graduate College, selected according to size, uniformity of maturity, health and free from damage. These were stored in a refrigerator at 9 °C.

Two peach varieties were used and two treatments for each variety and a control. For Paquime was used a control with 9 fruits, a treatment applying a load of 50 kg to 9 fruits and other of 14 kg to 10 fruits, peaches were accommodated in a single layer within the receiving net, where they were subjected to different loads. The number of fruits per treatment will depend on its physical dimensions, ie with small fruits were needed more, to cover the bottom layer within the receiving net. In the case of the Oro from Tlaxcala a control was used with 9 fruits, a treatment of 100 kg to 8 fruits and another one of 50 kg at 8 fruits.

The evaluated response variables were: fruit weight (g), color (L, a, b), firmness (N), total soluble solids (°Brix), respiration (mLCO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). The evaluation of days for each treatment varies according to the condition of the fruit, controls that remained during the two load application treatments for each variety of peach.

The weight loss data were plotted in percentage on the third day of application of each of the six treatments. In the case of polar diameter, total soluble solids, and firmness data, all points were plotted and used a non-linear regression model to demonstrate their behavior.

The difference in color between the hue angle and saturation index parameters was assessed by an analysis of variance and a Tukey test  $p=0.05$  to the 6 treatments using the statistical analysis program SAS version 9.3 (SAS, 2000).

Respiration was evaluated by comparing respiration rates for three days. Weight loss was determined at the beginning and ends of treatment, and was recorded on a digital scale. Polar diameter variation was measured using a caliper; the total soluble solids content was determined according to the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000) using a digital refractometer Atago Palette PR-32. Firmness was measured with a Universal texturometer WAGNER ForceFive Model FDV-30 with a conical strut of 7 mm in diameter. The color measurement was obtained with a Hunter Labcolorimeter D25-PC2 where L (0= black and 100= white),

La diferencia en color entre los parámetros Angulo hue e índice de saturación se evaluó mediante un análisis de varianza y una prueba de Tukey  $p=0.05$  a los 6 tratamientos utilizando el programa de análisis estadístico SAS versión 9.3 (SAS, 2000).

La respiración se evaluó comparando las tasas de respiración durante tres días. La pérdida de peso se determinó al inicio y final de los tratamientos, se registró en una balanza digital. La variación de diámetro polar fue tomada con un vernier, el contenido de sólidos solubles totales fue determinado de acuerdo a la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000) con un refractómetro digital ATAGO Palette PR-32. La firmeza con el Texturómetro Universal WAGNER ForceFive Modelo FDV-30 se utilizó un puntal cónico de 7 mm de diámetro. La medición de color se obtuvo con un colorímetro Hunter Lab D25-PC2 donde L (0= negro y 100= blanco). a (con valores a+ y a-, va de rojo a verde); y b (con valores b+ y b-, va de amarillo a azul) y con ellos calcular el ángulo de matiz o ángulo hue e índice de saturación.

La velocidad de respiración ( $CO_2$ ) se cuantificó mediante un sistema dinámico de flujo continuo, utilizando un medidor de  $CO_2$  TELAIRE conectado al HOBO data logger (para medir temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, y calcula punto de rocío), un tablero de flujo continuo el cual controló la cantidad de aire que ingresaba al contenedor herméticamente cerrado que contenía un cierto número de duraznos de peso conocido. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador para hacer un barrido de gases y comenzar la lectura de  $CO_2$  desde 0.

## Resultados y discusión

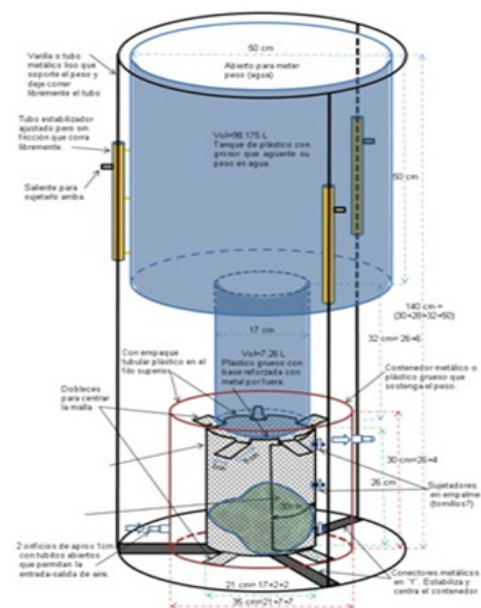
El diseño final del aparato creado para simular los esfuerzos dinámicos en laboratorio a escala se muestra en la Figura 1. En la Figura 2 se ilustra ya armado completamente con el material seleccionado y adaptado. El contenedor de mayor dimensión (bote azul) contuvo el peso que se adicionó para las pruebas, y el embolo blanco ejerció presión a la capa de fruta colocada en la parte inferior del contenedor y la malla. El contenedor inferior (anaranjado) junto con la capa plástica crea la atmósfera modificada (la cual se convertirá en una atmósfera controlada en forma posterior) donde se evaluó la respiración del fruto.

a (with  $a^+$  and  $a^-$  values, going from red to green) and b (with  $b^+$  and  $b^-$  values, going from yellow to blue) and with them was calculated hue angle and saturation index.

Respiration rate ( $CO_2$ ) was quantified through a dynamic continuous flow system, using a TELAIRE  $CO_2$  sensor connected to HOBO data logger (to measure temperature, humidity, light intensity, and calculated dew point), a control panel of continuous flow which controlled the amount of air that entered to the sealed container, containing a number of known weight peaches. Nitrogen was used as carrier gas to sweep gas and begin the measurement of  $CO_2$  from 0.

## Results and discussion

The final design of the equipment built to simulate the dynamic stresses on a laboratory scale is shown in Figure 1. In Figure 2 is shown fully assembled and with the material selected and adapted. The larger container (blue canister) contained the weight that was added for testing, and the white piston exerted pressure into the fruit layer placed on the bottom of the container. The lower container (orange) along with the plastic layer creates a modified atmosphere (which will become a controlled atmosphere moreover) where the respiration rate was evaluated.



**Figura 1. Diseño del modelo simulador de esfuerzos dinámicos para uso en laboratorio.**

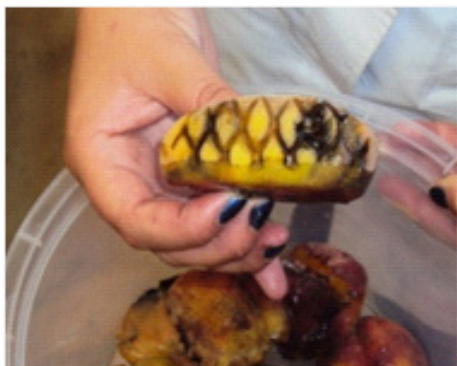
**Figure 1. Design of the simulation model of Dynamic stress for laboratory use.**



**Figura 2. Imagen real del aparato simulador de esfuerzos dinámicos.**

**Figure 2. Actual image of dynamic forces simulating machine.**

Los frutos después de aplicar la carga sufrieron daños severos como se puede observar en la Figura 3 que muestra el estado final del fruto del tratamiento de 50 kg (3 días) presentó compresión hasta llegar al nivel de endocarpio, desjuge considerable que produjo la putrefacción de los frutos en poco tiempo.



**Figura 3. Durazno Paquimé: aplastamiento polar del fruto y manchado por la malla.**

**Figure 3. Paquime peach: Polar Crush of the fruit and stained by the net.**

El tratamiento Paquimé 14 kg después de 3 días presentó un aplastamiento ligero, poco desjuge y oxidación en el área cercana al endocarpio y en la zona de presión (Figura 4).

El tratamiento Oro de Tlaxcala 100 kg presentó un aplastamiento en la zona de presión con una oxidación interna marcada, leve desjuge y manchado en el epicarpio (Figura 5).

After applying the load the fruit suffered severe damage, as seen in Figure 3 which shows the final state of fruit after the 50 kg treatment (3 days) which presented a compression close to the endocarp level, producing a substantial loss of juice which led to the putrefaction of fruits in a short time.

The treatment 14 kg to Paquime peach after 3 days showed a slight crush, small loss of juice and oxidation in the area near the endocarp and in the pressure zone (Figure 4).



**Figura 4. Durazno Paquimé, tratamiento 14 kg: deformación del fruto y daños internos.**

**Figure 4. Paquime peach, 14 kg treatment: fruit deformation and internal damage.**

The 100 kg treatment to Oro from Tlaxcala presented a crushing in the pressure zone with a marked internal oxidation, mild loss of juice and stained in the epicarp (Figure 5).



**Figura 5. Durazno Oro de Tlaxcala, tratamiento 100 kg manchado interno del fruto, y oscurecimiento de la zona dañada por la carga.**

**Figure 5. Oro Peach from Tlaxcala, 100 kg treatment, internal stained of fruit and darkening of the area damaged by the load.**

Oro de Tlaxcala tratamiento de 50 kg presento ligero achatamiento de polos, desjugue a nivel de gotas, manchado interno en la zona de presión y alrededor del hueso (Figura 6).



**Figura 6. Durazno Oro de Tlaxcala, tratamiento 50 kg daños internos del fruto.**  
**Figure 6. Oro peach from Tlaxcala, 50 kg treatment with internal damage.**

### Pérdida de peso

En la Figura 7, se observa el comportamiento sin carga entre testigos es similar, no muestran diferencia; sin embargo, destaca la pérdida de peso tan elevada del tratamiento Paquimé 50 kg que en el tercer día ha perdido 16% de su peso debido al desjugue por la condición de su madurez avanzada y por efecto de la carga. Mientras que los tratamientos restantes no superan una pérdida mayor al 4%.

Pérdida de peso porcentual de frutos de durazno Paquimé y Oro en tres tratamientos de carga en el tiempo total de su tratamiento (se utilizaron valores promedio).

La pérdida de peso obtenida en Paquimé 50 kg es considerable debido a que el grado de madurez del fruto permitió ruptura y derramamiento de jugo del fruto. Mientras que los testigos de ambas variedades presentaron el mismo comportamiento, el tratamiento de Paquimé 14 kg y Oro 100 kg mostraron un patrón de respuesta similar en pérdida de peso y Oro 50 kg perdió menos peso que los anteriores.

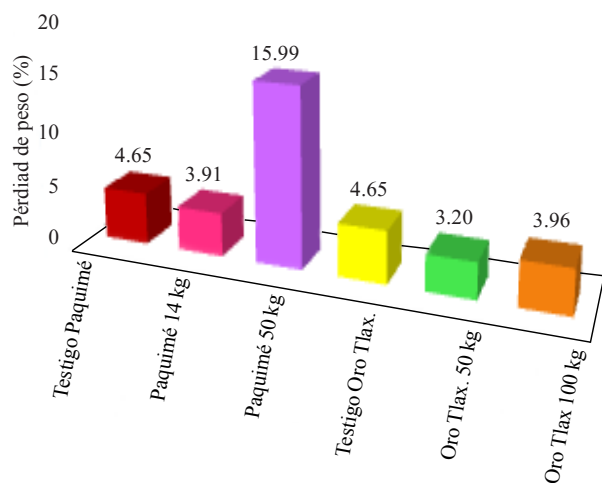
### Tamaño

La Figura 8 muestra la respuesta a la pérdida de tamaño del fruto (achatamiento de los polos) en respuesta a la carga aplicada sobre ellos, dando como resultado un menor diámetro del fruto a mayor carga aplicada. El grado de madurez de los frutos Paquimé más avanzado permite una

The 50 kg treatment to Oro variety presented a slight flattening of poles, loss of juice to a drop level, internal stained in the pressure area and around the seed (Figure 6).

### Weight loss

Figure 7, shows that the behavior without load between controls is similar, they show no difference; however, highlights the high weight loss from the 50 kg treatment in Paquime, that up to the third day lost 16% of its weight due to the loss of juice because its advanced maturity and by effect of the load. Meanwhile the remaining treatments do not reach a loss greater than 4%.



**Figura 7. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de durazno de dos variedades en seis tratamientos a los tres días.**  
**Figure 7. Percentage of weight loss in peaches of two varieties, in six treatments at three days.**

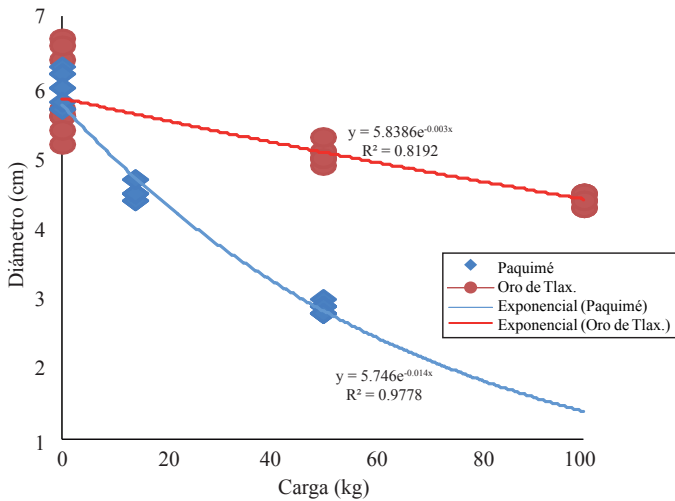
Percentage weight loss of two peach varieties (Oro and Paquime) in three load treatments in total time of treatment (mean values were used.)

The weight loss obtained in Paquime 50 kg is considerable because of the maturity of the fruit allowing rupture and juice spills. While controls of both varieties showed the same behavior, the Paquime 14 kg and Oro 100 kg treatment, showed a similar response pattern in weight loss and Oro 50 kg lost less weight than the previous.

### Size

Figure 8 shows the response to loss of fruit size (flattening of the poles) in response to the load applied on them, resulting in a smaller diameter of the fruit to higher load. Paquime fruits showed a greater decrease in polar diameter due to its

mayor disminución de diámetro polar en comparación a la variedad Oro de Tlaxcala los cuales presentaban menor grado de madurez. Mientras que los Paquimé de aproximadamente 6 cm de diámetro polar se redujeron a escasos 2.8 cm, los Oro al doble de carga y con un diámetro polar inicial semejante a la Paquimé, se redujeron a 4.5 cm.



**Figura 8. Pérdida de diámetro polar de frutos de durazno respecto a la carga aplicada sólidos solubles totales.**  
**Figure 8. Loss of polar diameter in peach in relation to the applied load and total soluble solids.**

La respuesta de los frutos a la aplicación de carga muestra que en el caso de mayor carga, hay un aumento de pérdida de grados brix. Existe un comportamiento decreciente en la cantidad de sólidos solubles totales al paso del tiempo, no así para el caso de Oro Tlaxcala 100 kg quien muestra un incremento (Figura 9).

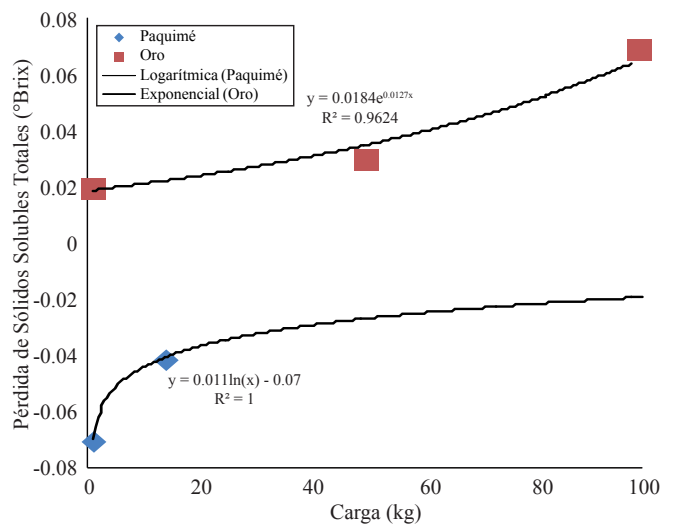
**Firmeza**

Por medio de un modelo estadístico de regresión no lineal se explica el comportamiento de la pérdida de firmeza respecto a la carga aplicada (Figura 10). Se observa una claro efecto de tendencia afectado por la carga donde a mayor peso existe una mayor pérdida de firmeza, y que es mayor esta pérdida cuando los frutos se encuentran en madurez de consumo como el caso de Paquimé, y un tanto menor cuando la madurez es fisiológica. Tal es el caso en el tratamiento Oro 50 kg existe un pérdida de 0.358N y para la carga de 100 kg la pérdida de firmeza equivale a 0.8N. En el caso de Paquimé a una carga de 14 kg la firmeza disminuye 0.29 N.

La firmeza disminuye a través del tiempo y es más notorio en las cargas mayores, donde es drástica la pérdida de firmeza. También afecta considerablemente el estado de madurez del fruto.

advanced maturity in comparison to the variety Oro variety which exhibited low levels of maturity. Meanwhile the Paquime fruit of approximately 6 cm in polar diameter were reduced to 2.8 cm, the Oro variety at a double loading, with a polar diameter similar to Paquime were reduced to 4.5 cm.

Fruits response to load application shows that in the case of higher load, there is an increase in brix loss. There is a decreasing trend in the amount of total soluble solids over time, but not for the case of Oro 100 kg that shows an increase (Figure 9).



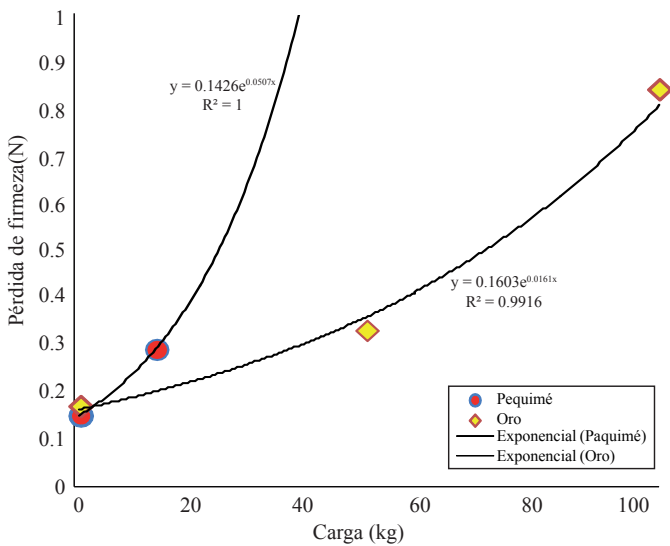
**Figura 9. Comportamiento respuesta de sólidos solubles totales en durazno respecto a carga, en comparación a un día.**  
**Figure 9. Behavior response of total soluble solids in peach regarding load, compared to a day.**

**Firmness**

Trough a nonlinear regression model is explained the behavior of loss firmness compared to the applied load (Figure 10). There is a clear trend effect, affected by the load where to a greater weight there is greater loss of firmness, and that this loss is larger when the fruits are ripening as in the case of Paquime, and somewhat less when the mature is physiological. Such is the case in the treatment Oro 50 kg that exist a loss of 0.358N and for the load of 100 kg the loss of firmness is equal to 0.8N. In the case of Paquime 14 kg the firmness decreases 0.29 N.

The firmness decreases over time and is more noticeable in higher loads, where drastic loss of firmness. Also significantly affects the maturity of the fruit.





**Figura 10. Pérdida de firmeza de durazno por día por efecto de la carga aplicada.**

**Figure 10. Firmness loss in peach per day by the effect of the applied load.**

**Color**

Los promedios de color comparando ambas variedades Oro de Tlaxcala y Paquimé muestran la clara diferencia entre variedades, puesto que una tiende al rojo (Paquimé) y la otra al amarillo (Oro de Tlaxcala), con una mayor luminosidad o claridad la variedad Oro de Tlaxcala y ángulos hue mayores para la misma (Figura 11).

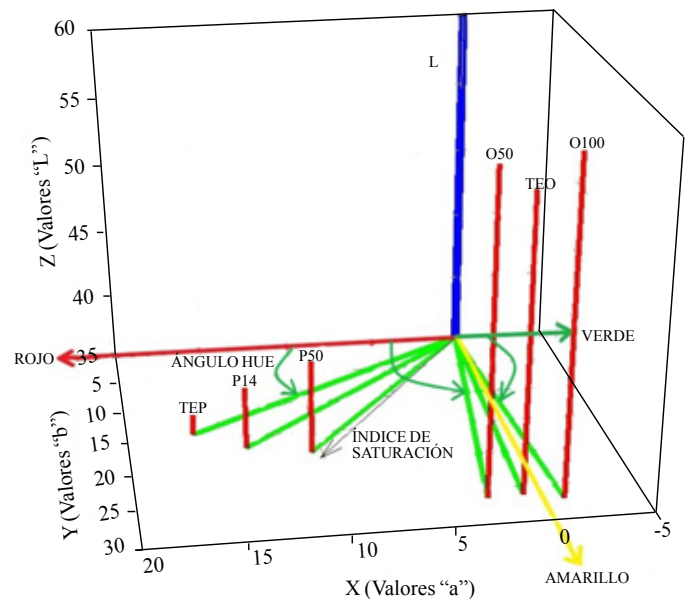
Analizando el color por variedad, se tiene en los frutos Paquimé un rojo más intenso, ángulo hue y luminosidad menores en los testigos, seguidos por el tratamiento de 14 kg y posteriormente el de 50 kg el muestra un grado menor de madurez, mayor ángulo hue y luminosidad.

En la variedad Oro de Tlaxcala tenemos un color ligeramente verde para el tratamiento de 100 kg quien tiene la mayor luminosidad, el testigo con un color muy cercano al amarillo y tiene el mayor ángulo hue y la menor luminosidad y por último el tratamiento de 50 kg que tiene el menor ángulo hue.

Los datos analizados en SAS nos arrojan las siguientes box plot que indica que existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre variedades tanto para el índice de saturación (Figura 12) como para el ángulo hue (Figura 13). Asimismo, se encuentran diferencias significativas entre tratamientos de diferentes variedades, más no entre tratamientos de la misma variedad tanto en índice de saturación (Figura 14), como en ángulo hue (Figura 15).

**Color**

Color averages comparing both varieties show a clear difference between varieties, since one tends to red (Paquimé) and the other to yellow (Oro from Tlaxcala), with higher brightness or clarity the Oro variety and hue angles greater for the same (Figure 11).

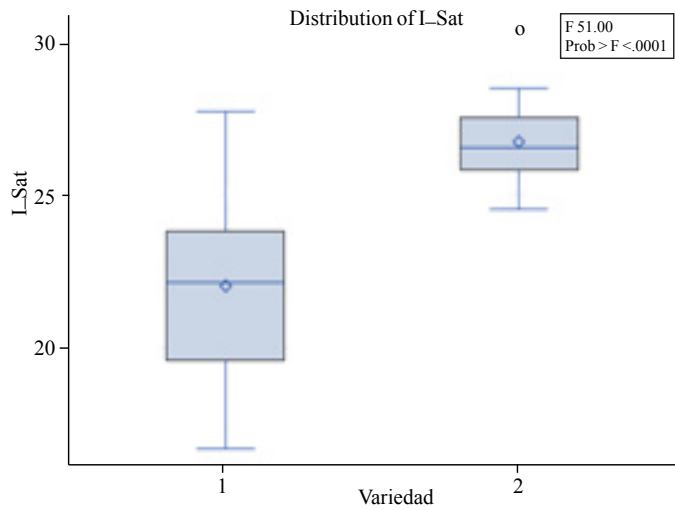


**Figura 11. Promedios de color entre tratamientos vistos en 3D.**  
**Figure 11. Average color between treatments seen in 3D.**

Analyzing the color by variety, we have that in Paquimé fruits there is a more intense red, hue angle and lower luminosity than controls, followed by the 14 kg treatment and thereafter the 50 kg treatment show a lower degree of maturity, greater hue angle and luminosity.

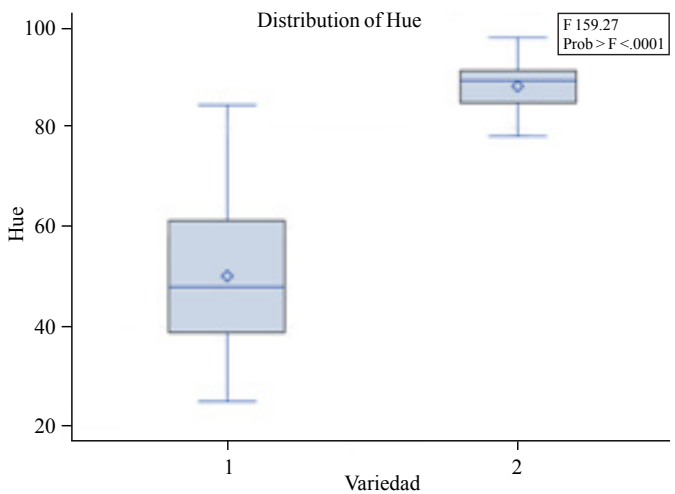
In the Oro variety from Tlaxcala we have a slightly green color, for the treatment of 100 kg who has the highest luminosity, the control with a color very close to yellow and has the highest hue angle and lowest luminosity, and finally the treatment of 50 kg which has the lowest hue angle.

The data analyzed with SAS gave us the following box plot indicating that there are significant differences ( $p < 0.05$ ) between varieties for both saturation index (Figure 12) as for the hue angle (Figure 13). Also, there are significant differences between treatments of different varieties, but not between treatments of the same variety in both saturation index (Figure 14) and hue angle (Figure 15).



**Figura 12. Box plot diferencias de índice de saturación entre variedades.**

**Figure 12. Box plotsaturation index differences between varieties.**

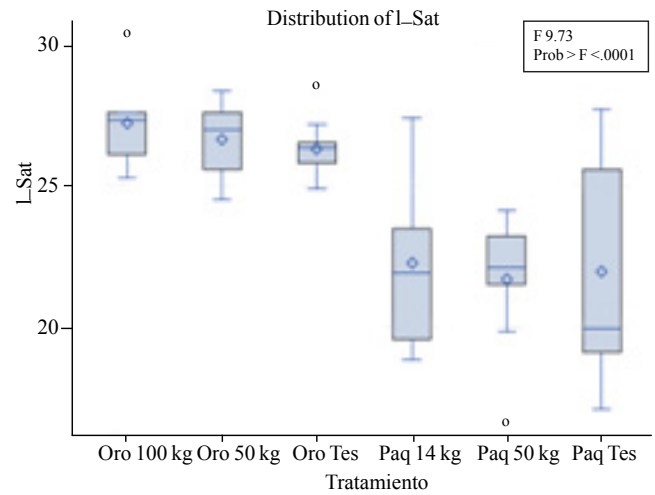


**Figura 13. Box plot diferencia de ángulo hue entre variedades.**

**Figure 13. Box plot hue angle difference between varieties.**

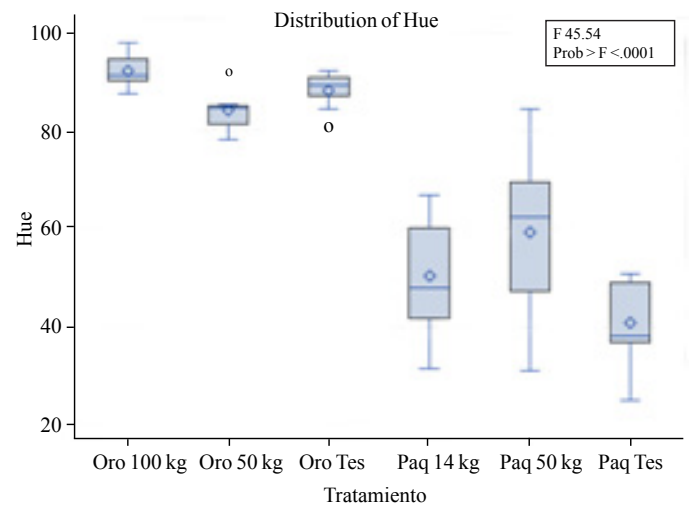
**Respiración**

La medición de la respiración por medio de flujo dinámico muestra el comportamiento a través del día de su respiración (Figura 16). Los testigos muestran una variación de máximo a mínimo de 10 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para ambas variedades por efecto día-noche. Los valores máximos de respiración se detectan entre las 17:00 y 18:00 h y lo menores alrededor de las 7:00 h. El factor temperatura debido a su variación natural durante el día y noche, afecta directamente el patrón de respiración, mostrando un comportamiento oscilante casi paralelo entre ellos, presentándose un ligero desfase de aproximadamente una hora. Puesto que data logger en los frutos testigo, detecta la temperatura mínima a las 7:00 h y el valor mínimo de respiración es observado a las 8:00 h.



**Figura 14. Box plot de índice de saturación diferencias entre tratamientos.**

**Figure 14. Box plot of saturation index differences between treatments.**

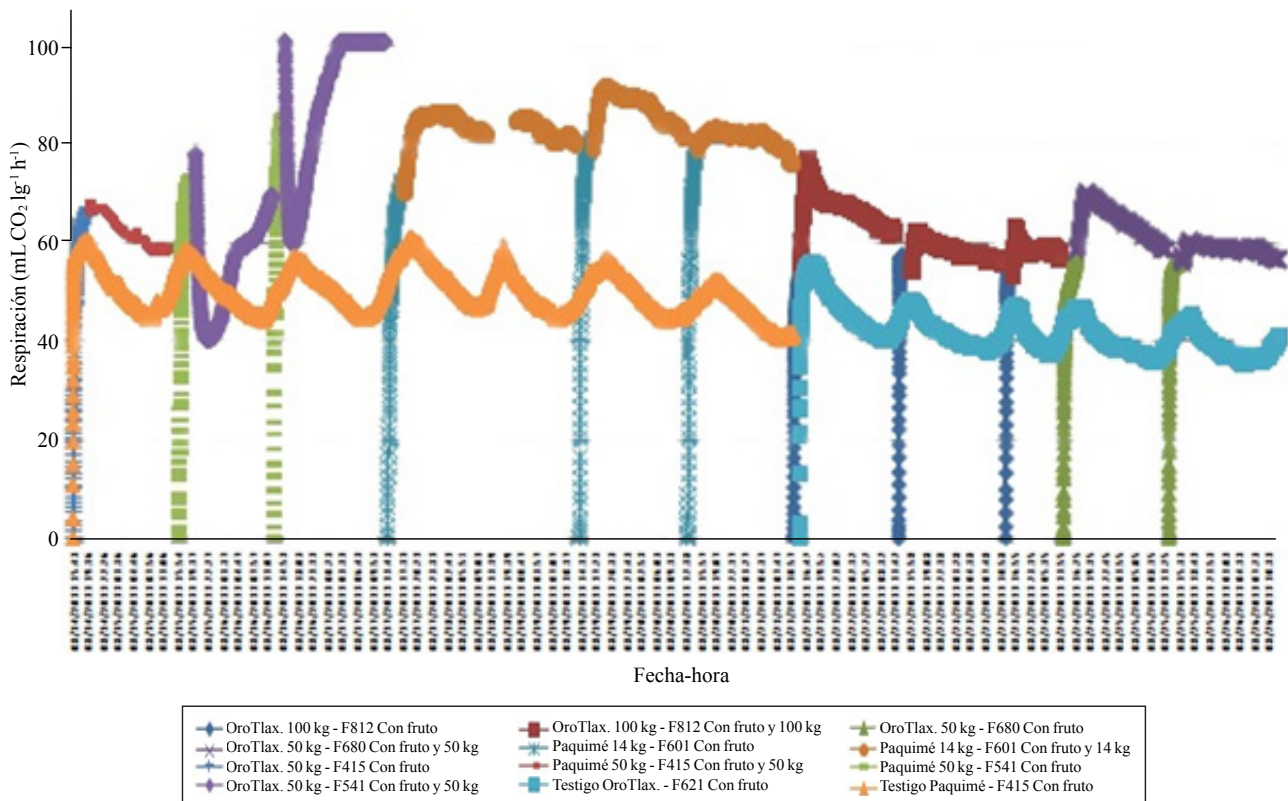


**Figura 15. Box plot de ángulo hue comparación entre tratamientos.**

**Figure 15. Box plot of hue angle compared between treatments.**

**Respiration**

Measuring respiration through a dynamic flow shows the behavior through the day of its respiration (Figure 16). Controls show a variation from maximum to minimum of 10 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> for both varieties by day-night effect. The maximum values of respiration are detected between 17:00 and 18:00 h and the minimum around 7:00 h. The temperature factor due to natural variation during the day and night, directly affects the respiration pattern, showing an oscillating behavior almost parallel between them, presenting a slight lag of approximately one hour. Since data



**Figura 16. Comportamiento de la respiración dinámica de durazno Oro y Paquimé en los distintos tratamientos.**  
**Figure 16. Dynamic behavior of respiration on Oro and Paquime varieties under different treatments.**

La respiración dinámica de los frutos de durazno fue analizada con modelos de regresión lineal para estimar la tasa de crecimiento o decrecimiento para cada día de los tratamientos, se analizan únicamente para la fase estable. Los valores se muestran a continuación en el Cuadro 1 donde se comparan los valores promedios al tercer día de los tratamientos.

La mayoría de las tasas muestran un decrecimiento en la respiración, excepto por el tratamiento de Paquimé 50 kg que muestra un incremento promedio de 1.93 mLCO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> por día. Cuando la tendencia indica que al paso del tiempo la respiración disminuye. En el caso del testigo Paquimé muestra un descenso en la respiración de 1.25 mLCO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> por día.

Los frutos de durazno con menor grado de madurez presentaron daños menos drásticos en comparación a los de madurez más avanzada, soportan mayor carga sin presentar daños considerables, Crisosto *et al.* (2001) y Metheney *et al.* (2002) mencionan que el incremento de daños en durazno está relacionado con los niveles de impacto. En niveles de impacto intermedios o bajos que son los más comunes, las

logger in the control fruit, detects the minimum temperature at 7:00 h and the minimum value of respiration is observed at 8:00 h.

Respiration dynamics of peach fruits was analyzed using linear regression models to estimate the rate of increase or decline for each day of the treatments; these are analyzed only for the stable phase. The values are shown below in Table 1, which compares the average values on the third day of treatment.

**Cuadro1. Comparación de incremento promedio de respiración.**

**Table 1. Comparison of average increase of respiration.**

Tratamiento	Pendiente	R2
Paquimé testigo	1.250	0.89
Paquimé 50 kg	1.930	0.89
Paquimé 14 kg	0.714	0.87
Oro testigo	0.994	0.92
Oro 100 kg	0.673	0.90
Oro 50 kg	0.495	0.77

propiedades del fruto juegan un papel muy importante, pero a niveles de alto impacto el efecto de las propiedades de la fruta no son suficientes para evitar el daño y se deteriora la calidad del fruto.

## Conclusiones

El equipo creado para evaluar esfuerzos dinámicos en frutos en laboratorio demostró ser funcional para la simulación y medición de parámetros de calidad de durazno.

Los frutos de durazno mostraron sensibilidad fisiológica a la aplicación de cargas externas, presentando daños mecánicos, la severidad depende el grado de madura del fruto y de la carga aplicada. La velocidad de respiración se incrementa al aplicar carga, posteriormente disminuye y por último se estabiliza, al paso del tiempo disminuye la tasa respiratoria.

La aplicación de carga en los frutos de durazno se tradujo en deformación del fruto, oscurecimiento interno en la parte donde se aplica la carga y alrededor del endocarpio, pérdida de peso y firmeza.

La respiración dinámica presentó comportamiento oscilatorio en el transcurso del día, variando de acuerdo a la hora, ya que la temperatura afecta la velocidad de respiración.

## Literatura citada

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official methods of analysis. Ed. Washington. 268 p.
- Barbosa, C. G.; Fernández, M. J. J.; Alzamora, S. M.; Tapia, M. S.; López, M. A. and Welti, C. S. J. 2003. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas: technical manual. FAO Agricultural Services. Roma, Italy. Bulletin 149.
- Chávez, F. S. H.; Vázquez, G. E. y Saucedo, V. C. 2000. Propiedades biomecánicas de frutos de zarzamora. *Agrociencia*. 34:129-135.
- Crisosto, C. H.; Garnes, D.; Doyle, J. and Day, K. 1993. Relationship between fruit respiration, bruising susceptibility and temperature in sweet cherries. *HortScience* 28(2):132-135.
- Crisosto, C. H. 1994. Optimum procedures for ripening stone fruit. *Perishables Handling Newsletter*, University of California. Issue N° 80, Davis, CA. 22-24 pp.
- Crisosto, C.; Katrina, S.; Boyd, J.; Garner, D.; Labavitch, J. and Shackel, K. 1998. Improving the ripening protocol for warehouses and retail stores. Delayed cooling. Research report, California peaches, plums, and nectarines. California Tree Fruit Agreement. 326pp.

Most rates show a decrease in respiration, except for the treatment of Paquime 50 kg showing an average increase of 1.93 mLCO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> per day. When the trend indicates that over time respiration decreases; in the case of the control for Paquime shows a decline in respiration of 1.25 mLCO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>H<sup>-1</sup> per day.

The peach fruit with a less maturity degree, showed less drastic damage compared to those with more advanced maturity; stand more load without showing considerable damage. Crisosto *et al.* (2001) and Metheney *et al.* (2002) mention that the increase of damage in peach is related to the impact levels. Intermediate or low levels of impact are the most common, fruit properties play an important role, but at levels of high impact the effect of fruit properties are not enough to prevent damage and fruit quality deteriorates.

## Conclusions

The equipment built to evaluate dynamic stresses in fruits on laboratory proved functional for simulation and measurement of quality parameters of peach.

Peach fruits showed physiological sensitivity to application of external loads, presenting mechanical damage, the severity depend on the degree of maturity of the fruit and the applied load. The respiration rate increases when applying load then decreases and finally stabilizes; over time respiration rate decreases.

Load application in peach fruits resulted in fruit deformation, internal browning in the part where the load is applied and around the endocarp, weight loss and firmness.

Dynamic Respiration presented an oscillatory behavior in the course of the day, varying according to the time, since the temperature affects the rate of respiration.

*End of the English version*



- Crisosto, C. H. and Kader, A. A. 2000. Peach. Postharvest quality maintenance guidelines. Disponible en <http://www.uckac.edu/postharv/PDF%20files/peach.pdf>.
- Crisosto, C. H.; Slaughter, D.; Garner, D. and Boyd, J. 2001. Stone fruit critical bruising thresholds. *J. Am. Pomol. Soc.* 54:76-81.
- Fekete, A. 1994. Elasticity characteristics of fruits. *Acta Horticulturae*. 386:199-205.
- Giörgy, S. 1986. Mechanics of agricultural materials. Elsevier Science Publisher. Amsterdam. The Netherlands and Akademiai Kiadó, Budapest, Hungary. 260-283.

- Gutiérrez, A.; Burgos J. A. and Molto, E. 2007. Pre-commercial sorting line for peaches firmness assessment. *J. Food Eng.* 81:721-727.
- Knee, M. and Miller, R. 2000. Mechanical injury. *In: fruit quality and its biological basis.* Knee, M. (Ed.). CRC Press. Sheffield, UK. 157-179 pp.
- Metheny, P. D.; Crisosto, C. H. and Garner, D. 2002. Developing canning peach critical bruising thresholds. *J. Am. Pomol. Soc.* 56:75-78.
- Mohsenin, N. N. 1970. Applications of engineering techniques to evaluation of texture of solid food materials. *J. Tex. Stud.* 1(2):133.134.
- SAS Institute (Versión 9.3). 2000. The SAS system for Windows. Release 9.3. SAS Inst., Cary, NC. USA.
- Shewfelt, R. L. 1999. What is quality? postharvest biology and technology. Amsterdam. V. 15. N. 2. 197-200 pp.
- Sistrunk, W. A. 1985. Peach quality assessment: fresh and processed *In: Pate, H. E. (Ed). Evaluation of quality of fruits and vegetables.* AVI Publishing Company, Inc. Raleigh, NC. 1-46 pp.
- Thompson, A. K. 1996. Postharvest technology of fruit and vegetable. Blackwell Science. Oxford. UK 410 p.
- Valero, U. C. y Ruiz, A. M. 1996. Técnicas de medida de la calidad de frutas. Departamento Ingeniería Rural. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Disponible en: <http://www.iru16.iru.etsia.upm.es/pdf/2000%20Ctmcs.PDF>.
- Villaseñor, P. C. A. 2006. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(2):157-162.
- Watada, A. E. 1995. Methods for determining quality of fruits and vegetables. *Acta Horticulturae.* 379: 559-567.