

Impactos al fruto de aguacate ‘Hass’ en la línea de empaque y su efecto en la calidad poscosecha*

Impacts to avocado ‘Hass’ fruit in the packaging line and its effect on post-harvest quality

Juan Antonio Herrera-González¹ y Samuel Salazar-García^{2§}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Uruapan. Avenida Latinoamericana 1101, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60150. Tel. (55) 8718700, ext. 84202. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Carretera Internacional México-Nogales km 6, Entrada a Santiago Ixcuintla, Nayarit. Tel. (55) 8718700, ext. 84426. [§]Autor para correspondencia: salazar.avocado@gmail.com.

Resumen

Los procesos de cosecha, poscosecha, almacenamiento y distribución del fruto de aguacate ‘Hass’ deben mantener la calidad del fruto ya que en estos procesos el fruto está expuesto a impactos que ocasionan pérdidas de calidad. Los objetivos de este estudio fueron: 1) cuantificar la magnitud y sitios donde ocurren los impactos en la línea de selección; 2) determinar los daños que generan los impactos en la calidad externa e interna de los frutos; y 3) evaluar el efecto de los tipos de impacto y la refrigeración sobre la calidad del fruto en madurez de consumo. Se utilizó un sensor inalámbrico con forma de fruto aguacate, que mide los impactos y los transmite a un ordenador portátil que contabiliza en tiempo real el número de impactos y su magnitud. Se hizo pasar el sensor por la línea de selección de cuatro empacadoras exportadoras, se separó el proceso en cuatro etapas y se hizo variar la velocidad de la banda de vaciado de fruto. También se evaluó el efecto de impactos inducidos sobre la calidad del fruto en madurez de consumo, después de su almacenamiento a temperatura ambiente o en refrigeración. Los impactos máximos difirieron entre empacadoras y ocurrieron en la etapa de vaciado de frutos; además, una baja velocidad en la banda de vaciado no disminuyó la intensidad

Abstract

Harvest, postharvest, storage and distribution processes of the avocado ‘Hass’ fruit must maintain the quality of the fruit because in these processes the fruit is exposed to impacts that cause quality losses. The objectives of this study were: 1) to quantify the magnitude and sites where the impacts occur in the selection line; 2) to determine the damages that generate the impacts in the external and internal quality of the fruits; and 3) to evaluate the effect of the types of impact and the refrigeration on the quality of the fruit in maturity of consumption. A wireless sensor with an avocado fruit was used, which measures the impacts and transmits them to a laptop that counts in real time the number of impacts and their magnitude. The sensor was passed through the selection line of four exporting balers, the process was separated into four stages and the speed of the fruit strip was varied. We also evaluated the effect of induced impacts on fruit quality at maturity of consumption, after storage at room temperature or in refrigeration. The maximum impacts differed between packers and occurred in the fruit emptying stage; in addition, a low speed in the emptying band did not reduce the intensity of the impacts. Only fruits stored for 28 days in refrigeration (with induced impacts) showed damages to their internal quality at maturity of consumption.

*Recibido: julio de 2017

Aceptado: agosto de 2017

de los impactos. Sólo los frutos almacenados por 28 días en refrigeración (con impactos inducidos) mostraron daños a su calidad interna en madurez de consumo.

Palabras clave: *Persea americana* Miller., daño mecánico, manejo poscosecha, sensor inalámbrico de impactos.

Introducción

El fruto de aguacate ‘Hass’ es susceptible a impactos que ocurren durante su manejo poscosecha. Los impactos en la empacadora pueden ser una fuente importante de daños mecánicos (Yull *et al.*, 2015). En la línea de selección y empacado el fruto está expuesto a impactos dinámicos y estáticos (vibraciones y compresión) que demeritan la calidad interna del fruto en madurez de consumo (Pallottino *et al.*, 2009). Los impactos o daños mecánicos ocasionan pérdidas económicas ya que demeritan el valor comercial del fruto (Sablani *et al.*, 2006). El resultado de esto son pudriciones y alteración en la textura, color y sabor de la pulpa del fruto, ocasionado por la aceleración de los procesos de maduración, disminuyendo la firmeza y la pérdida de masa, acortando la vida de anaquel (Opara y Pathare, 2014).

En México, el aguacate ‘Hass’ para exportación pasa por varios procesos de selección, desde la cosecha hasta su empacado. Esto expone al fruto a impactos de diversas magnitudes que pueden disminuir su calidad poscosecha (Van-Linden *et al.*, 2006). Los impactos resultan de la excesiva fuerza de un impacto sobre una superficie dura o contra otros frutos que no alcanzan a absorber la fuerza de dichos impactos o compresiones (Yurtlu y Erdoğan, 2005). Lo anterior generalmente resulta en daños a la calidad interna del fruto cuando este alcanza la madurez de consumo (Van-Linden *et al.*, 2008).

Diversas investigaciones se han centrado en entender la causa y mecanismos asociados a los daños por impactos al fruto. Por ejemplo, en cítricos y manzanas, se ha estudiado la magnitud de los impactos y las vibraciones (Bollen *et al.*, 2001), la influencia de los materiales y los contenedores, los impactos entre frutos, la susceptibilidad al daño mecánico y la relación de los factores anteriores con la calidad del fruto en madurez de consumo (Van-Zeebroeck *et al.*, 2007). Sin embargo, para los frutos frescos, el mayor desafío es la detección y prevención de los impactos en la línea de selección-empacado (Jarimopas *et al.*, 2007). Esto debido a que la inspección, detección y

Keywords: *Persea americana* Miller., mechanical damage, wireless impact sensor, post-harvest handling.

Introduction

The avocado ‘Hass’ fruit is susceptible to impacts that occur during its post-harvest handling. Impacts on the baler can be an important source of mechanical damage (Yull *et al.*, 2015). In the selection and packaging line the fruit is exposed to dynamic and static impacts (vibration and compression) that demerit the internal quality of the fruit at maturity of consumption (Pallottino *et al.*, 2009). The impacts or mechanical damages cause economic losses since they demerit the commercial value of the fruit (Sablani *et al.*, 2006). The result of this is rot and alteration in the texture, color and flavor of the fruit pulp, caused by the acceleration of maturation processes, decreasing firmness and loss of mass, shortening shelf life (Opara and Pathare, 2014).

In Mexico, avocado ‘Hass’ for export goes through various selection processes, from harvest to packaging. This exposes the fruit to impacts of various magnitudes that may decrease its post-harvest quality (Van-Linden *et al.*, 2006). Impacts result from the excessive force of an impact on a hard surface or against other fruits that fail to absorb the force of such impacts or compressions (Yurtlu and Erdoğan, 2005). The above generally results in damage to the internal quality of the fruit when it reaches the maturity of consumption (Van-Linden *et al.*, 2008).

Several investigations have focused on understanding the cause and mechanisms associated with damage by impacts to the fruit. For example, in citrus and apples, the magnitude of impacts and vibrations has been studied (Bollen *et al.*, 2001), the influence of materials and containers, impacts among fruits, susceptibility to mechanical damage and relationship of the previous factors with fruit quality at maturity of consumption (Van-Zeebroeck *et al.*, 2007). However, for fresh fruits, the major challenge is the detection and prevention of impacts on the selection-packaging line (Jarimopas *et al.*, 2007). This is because inspection, detection and adjustments to machinery, materials and containers are performed by non-standardized maintenance personnel, leading to inappropriate and inconsistent corrections.

There is an instrument equipped with a triaxial accelerometer to measure the impacts on the selection-pack line. It can be used with an avocado-type pseudofruit, with the same

ajustes a la maquinaria, materiales y contenedores lo realiza el personal de mantenimiento de forma no estandarizada, lo que conduce a correcciones inapropiadas e inconsistentes.

Para medir los impactos en la línea de selección-empaqueo existe un instrumento equipado con un acelerómetro triaxial. Se puede usar con un pseudofruto, tipo aguacate, con las mismas propiedades físicas y mecánicas durante el manejo poscosecha (Opara y Pathare, 2014) el cual puede simular el recorrido de los frutos por la línea de selección-empaqueo (Yull *et al.*, 2015). El acelerómetro triaxial es un sensor inalámbrico instalado dentro del pseudofruto que detecta y transmite datos de forma inalámbrica y en tiempo real, lo que permite hacer inspecciones, correcciones y adecuaciones en las líneas de selección-empaqueo (Toivonen *et al.*, 2007).

Aunque se ha desarrollado información sobre el efecto de los impactos y daños mecánicos sobre la calidad poscosecha en manzano (Van-Zeebroeck *et al.*, 2007), tomate (Desmet *et al.*, 2004) y cítricos (Miller *et al.*, 1991), entre otros, en aguacate la información sobre este daños es escasa. Los objetivos de esta investigación fueron 1) cuantificar la magnitud y sitios donde ocurren los impactos en la línea de selección y empaqueo de aguacate 'Hass'; 2) determinar los daños que generan los impactos en la calidad externa e interna de los frutos; y 3) evaluar el efecto de los tipos de impacto y la refrigeración sobre la calidad del fruto en madurez de consumo.

Materiales y métodos

Estudio 1. Magnitud y sitios donde ocurren los impactos en la línea de empaqueo

Comparación entre empacadoras. En septiembre 2012 se seleccionaron cuatro empacadoras de aguacate 'Hass' certificadas para exportación que representan 10% de las empacadoras certificadas. Las empacadoras cuentan con el mismo nivel tecnológico en el proceso de selección y empaqueo y fueron identificadas como empacadora 1, empacadora 2, empacadora 3 y empacadora 4.

La detección y cuantificación de los impactos se realizó con un sensor en forma de aguacate (Wireless Sensor Inc., PE, Ontario, Canadá), el cual registra y transfiere datos de forma inalámbrica a un dispositivo móvil (Palm®). El sensor utiliza una batería de suministro de corriente y cuenta con un acelerómetro triaxial que mide los impactos en Newtons

physical and mechanical properties during post-harvest management (Opara and Pathare, 2014), which can simulate the path of fruits through the selection-packaged line (Yull *et al.*, 2015). The triaxial accelerometer is a wireless sensor installed inside the pseudo-fruit that detects and transmits data wirelessly and in real time, allowing inspections, corrections and adjustments to the selection-packing lines (Toivonen *et al.*, 2007).

Although information have been developed on the effects of mechanical impacts and damages on post-harvest quality on apple fruit (Van-Zeebroeck *et al.*, 2007), tomato (Desmet *et al.*, 2004) and citrus fruits (Miller *et al.*, 1991), among others, in avocado the information on this type of damages is scarce. The objectives of this research were 1) to quantify the magnitude and sites where the impacts occur in the line of selection and packing of avocado 'Hass'; 2) to determine the damages that generate the impacts in the external and internal quality of the fruits; and 3) to evaluate the effect of the types of impact and the refrigeration on the quality of the fruit in maturity of consumption.

Materials and methods

Study 1. Magnitude and places where impacts occur in the packaging line

Comparison of balers. In September 2012 four export-certified avocado 'Hass' packers representing 10% of certified packers were selected. The balers have the same technological level in the selection and packing process and were identified as baler 1, baler 2, baler 3 and baler 4.

The detection and quantification of impacts was performed with an avocado sensor (Wireless Sensor Inc., PE, Ontario, Canada), which records and transfers data wirelessly to a mobile device (Palm®). The sensor uses a battery of current supply and has a triaxial accelerometer that measures the impacts in Newtons (N; 9.81 N= 1 kgF) and transmits the measurements through radiofrequency to the portable computer, which counts the number of impacts and its magnitude in real time.

In each packer the sensor was run for 18 cycles throughout the packaging line (Figure 1) and each cycle was taken as a repeat. The data obtained were: number of total impacts, maximum impact average and average intensity of total impacts.

(N; 9.81 N= 1 kgf) y transmite las mediciones a través de radiofrecuencia al ordenador portátil, el cual contabiliza el número de impactos y su magnitud en tiempo real.

En cada empacadora se hizo pasar el sensor durante 18 ciclos por toda la línea de empaçado (Figura 1) y cada ciclo se tomó como repetición. Los datos obtenidos fueron: número de impactos totales, promedio de impacto máximo y promedio de intensidad del total de los impactos.

Comparación entre etapas de selección y empaçado. El ciclo completo del proceso se dividió en cuatro etapas (Figura 1). Se pasó el sensor inalámbrico por 10 ciclos en cada etapa. Se obtuvieron los mismos datos descritos en la sección anterior.

Velocidad de la banda de vaciado de frutos. Se utilizaron tres velocidades, 24, 40 y 50 Hertz (Hz). En cada velocidad se pasó el sensor inalámbrico 10 veces junto con los frutos en la banda de vaciado (Figura 1A). Los datos obtenidos fueron tratados como en las evaluaciones anteriores.

Estudio 2. Efecto de los impactos sobre la calidad externa e interna del fruto en madurez de consumo

En este estudio se indujeron impactos sobre diferentes superficies y de diferentes alturas (Cuadro 1). En 2013 se cosecharon frutos de 'Hass' cuajados durante la floración (primavera 2012) con 32-40% de materia seca en la pulpa.

Para cada tratamiento se utilizaron 20 frutos a los cuales se les indujeron los impactos dejándolos caer libremente. Después del impacto los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $70\% \pm 10\%$) hasta madurez de consumo. En madurez de consumo se cuantificó la proporción de frutos con daño externo (pudrición). Algo similar se realizó para evaluar la calidad interna del fruto, aunque en este caso se abrió cada fruto por mitad. Otros desórdenes internos, como decoloración de la pulpa, oscurecimiento vascular, y pudrición basal no fueron considerados, ya que no son ocasionados por impactos en los frutos (Bill *et al.*, 2016).

Estudio 3. Efectos de los tipos de impacto y la refrigeración sobre la calidad del fruto en madurez de consumo

Similar al estudio 2, se indujeron impactos a 20 frutos por tratamiento, dejándolos caer libremente desde tres alturas diferentes sobre las superficies identificadas en el estudio 2



Figura 1. Etapas del proceso de selección y empaçado de aguacate 'Hass' para exportación: A) vaciado de frutos; B) rodillos y cepillos; C) selección manual, singulador y etiquetado; y D) caída a la tolva y tolva.

Figure 1. Stages of the selection and packaging process of avocado 'Hass' for export: A) emptying of fruits; B) rollers and brushes; C) manual selection, singulator and labeling; and D) fall to the hopper and hopper.

Comparison between selection and packing stages. The complete cycle of the process was divided into four stages (Figure 1). The wireless sensor was passed for 10 cycles at each stage. The same data described in the previous section were obtained.

Speed of the fruit strip. Three speeds, 24, 40 and 50 Hertz (Hz) were used. At each speed the wireless sensor was passed 10 times along with the fruits in the emptying band (Figure 1A). The data obtained were treated as in previous evaluations.

Study 2. Effect of impacts on external and internal quality of fruit at maturity of consumption

In this study, impacts were induced on different surfaces and from different heights (Table 1). In 2013, 'Hass' fruits were harvested during the main flowering (spring 2012) with 32-40% dry matter in the pulp.

como las que causaron daños a la calidad externa e interna del fruto (Cuadro 2). Para medir la magnitud del impacto al que fue sometido el fruto se dejó caer el sensor 30 veces en las mismas superficies y alturas.

Posterior al impacto, los frutos de cada tratamiento fueron refrigerados ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $85\% \pm 10\%$ humedad relativa) por 14 y 28 días. Al final de cada periodo de refrigeración, 10 frutos de cada tratamiento fueron trasladados a temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\% \pm 10\%$ HR) hasta su madurez de consumo.

For each treatment, 20 fruits were used and the impacts were induced by letting them fall freely. After the impact the fruits were stored at room temperature ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and relative humidity $70\% \pm 10\%$) until consumption maturity. At maturity of consumption the proportion of fruits with external damage (rot) was quantified. Something similar was done to evaluate the internal quality of the fruit, although in this case each fruit was opened in half. Other internal disorders, such as pulp discoloration, vascular darkening, and basal rot were not considered, as they are not caused by impacts on fruits (Bill *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Tratamientos para evaluar el efecto de los impactos sobre la calidad externa e interna del fruto de aguacate 'Hass' en madurez de consumo.

Table 1. Treatments to evaluate the impact of the impacts on the external and internal quality of the avocado 'Hass' fruit at maturity of consumption.

Trat	Superficie	Altura (m)	Trat	Superficie	Altura (m)	Trat	Superficie	Altura (m)
1	Madera+Dulona	0.5	9	Metal+Dulona	0.3	17	Otros frutos	0.2
2		0.7	10		0.4	18		0.4
3		0.9	11		0.5	19		0.6
4		1.1	12		0.6	20		0.8
5	Placa de madera	0.6	13	Metal liso	0.3	21	Tubos PVC	0.2
6		0.7	14		0.5	22		0.4
7		0.9	15		0.7	23		0.6
8		1.1	16		0.9	24		0.8

Al salir de la refrigeración (días 14 y 28) y en madurez de consumo a los tratamientos se les evaluó la disminución de la firmeza (kgF) con un texturómetro (Universal Xtrad, modelo A-XT2t, Serqueux, France) y la pérdida de masa (PDM) de los frutos con una balanza digital (Ohaus, CS2000, Parsippany, EE. UU). En madurez de consumo se valoró la calidad interna de la pulpa con una escala donde las categorías fueron: 0= 0%; 0.5= 5%; 1= 10%; 1.5= 15%; 2= 25%; 2.5= 30%; y 3= 35% de pulpa con oscurecimiento y cavidades de aire en la pulpa del fruto (White y Woolf, 2005).

Análisis estadístico

Para el estudio uno se utilizó un diseño experimental completamente al azar y en el dos y tres se utilizó un análisis bifactorial en diseño completamente al azar. La comparación de medias en los tres estudios se realizó con la prueba de

Study 3. Effects of impact types and refrigeration on fruit quality at consumption maturity

Similar to study 2, impacts to 20 fruits were induced by treatment, allowing them to fall freely from three different heights on the surfaces identified in study 2 as those that caused damages to the external and internal quality of the fruit (Table 2). To measure the magnitude of the impact to which the fruit was subjected, the sensor was dropped 30 times on the same surfaces and heights.

After the impact, the fruits of each treatment were refrigerated ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $85\% \pm 10\%$ relative humidity) for 14 and 28 days. At the end of each refrigeration period, 10 fruits of each treatment were transferred to room temperature ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\% \pm 10\%$ HR) until their consumption maturity.

Waller-Duncan ($p=0.05$). Los factores de variación en el estudio 1 fueron: empacadora, etapa y velocidad de banda de vaciado de frutos. En el estudio 2 fueron la altura de caída y la superficie de impacto. Para el estudio 3 fueron la altura de caída, superficie de impacto y los días de refrigeración. El análisis de varianza para las variables evaluadas se hicieron con el paquete estadístico SAS para Windows V9.2 (SAS, 2008).

Cuadro 2. Tratamientos para inducir impactos y evaluar su efecto sobre la calidad poscosecha del fruto de aguacate ‘Hass’.

Table 2. Treatments to induce impacts and evaluate their effect on post-harvest quality of avocado ‘Hass’ fruit.

Trat	Material/altura (m)	Trat	Material/altura (m)
1	Metal liso 0.4	9	Tubos de PVC/0.6
2	Metal liso/0.5	10	Frutos/0.4
3	Metal liso/0.6	11	Frutos/0.5
4	Placa de metal recubierta*/0.4	12	Frutos/0.6
5	Placa de metal recubierta/0.5	13	Tubo de metal/0.4
6	Placa de metal recubierta/0.6	14	Tubo de metal/0.5
7	Tubos de PVC/0.4	15	Tubo de metal/0.6
8	Tubos de PVC/0.5		

*=material de 10 mm de espesor que amortigua impactos.

Resultados y discusión

Estudio 1. Magnitud y sitios donde ocurren los impactos en línea de empacado

Comparación entre empacadoras

El número total de impactos de cualquier intensidad (0.1-25 kgF) registrados en la línea de selección y empacado fue similar en las cuatro empacadoras (Cuadro 3). Lo anterior fue independiente de la duración del proceso, ya que en algunas empacadoras el proceso dura poco menos de 4 min, mientras que en otras dura alrededor de 6 min. El promedio de los impactos máximos registrado por el sensor fue diferente entre las empacadoras ($p<0.05$). Siendo la empacadora 1 la que registró el impacto de mayor valor. La empacadora con el máximo impacto de menor promedio fue la empacadora 4. Las empacadoras 2 y 3 tuvieron valores intermedios.

At the end of refrigeration (days 14 and 28) and in maturity of consumption, the treatments were evaluated for the decrease of firmness (kgF) with a texturometer (Universal Xtrad, model A-XT2t, Serqueux, France) and loss of mass (PDM) of fruits with a digital scale (Ohaus, CS2000, Parsippany, USA). In consumer maturity the internal quality of the pulp was evaluated with a scale where the categories were: 0=0%; 0.5=5%; 1=10%; 1.5=15%; 2=25%; 2.5=30%; and 3=35% pulp with darkening and air cavities in the fruit pulp (White and Woolf, 2005).

Statistic analysis

For the study one was used a completely randomized experimental design and in the two and three we used a bifactorial analysis in completely random design. The comparison of means in the three studies was performed with the Waller-Duncan test ($p=0.05$). The variation factors in study 1 were: packer, stage and speed of fruit emptying band. In study 2 were the drop height and the impact surface. For study 3 were the drop height, impact surface and the cooling days. The analysis of variance for the variables evaluated was done with the statistical package SAS for Windows V9.2 (SAS, 2008).

Results and discussion

Study 1. Magnitude and sites where impacts occur in online packaging

Comparison of balers

The total number of impacts of any intensity (0.1-25 kgF) recorded in the selection and packing line was similar in all four packers (Table 3). This was independent of the duration of the process, since in some balers the process lasts just under 4 min, while in others it lasts around 6 min. The average of the maximum impacts recorded by the sensor was different between the packers ($p<0.05$). Packer 1 was the one with the highest value impact. The baler with the maximum impact of lower average was the baler 4. The balers 2 and 3 had intermediate values.

The average of total impacts that the sensor registered in the packers evaluated was different ($p<0.05$). The packer 1 had the highest average and the lowest was for packer 4 (Table 3). The low average of the total impacts was

El promedio de impactos totales que registró el sensor en las empacadoras evaluadas fue diferente ($p < 0.05$). La empacadora 1 tuvo el promedio mayor y el más bajo fue para la empacadora 4 (Cuadro 3). El bajo promedio de los impactos totales se debió a que el sensor registró gran cantidad de impactos con valores menores a 1 kgF y poca cantidad de impactos mayores a 5 kgF.

Cuadro 3. Diferencias entre empacadoras de aguacate 'Hass' para los impactos registrados por el sensor inalámbrico en las líneas de empaqueo.
Table 3. Differences between avocado 'Hass' packers for the impacts recorded by the wireless sensor on the packaging lines.

Empacadora	Número de impactos	Promedio impacto máximo (kgF)	Promedio intensidad de impactos totales (kgF)
1	42.7	9.9 a	1.6 a
2	42.4	8.1 ab	1.3 b
3	42.1	7.4 bc	1.1 bc
4	37.3	5.8 c	1 c
Pr>F	0.2663	0.0046	<0.0001

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Waller-Duncan, $p \leq 0.05$).

Comparación entre etapas de la línea de selección y empaqueo

El número de impactos, el impacto máximo y promedio de impactos totales registrados por el sensor fue diferente entre las etapas de empaqueo. La etapa 2 fue donde se registró el mayor número de impactos y en las etapas 1 y 4 se registraron menor número de impactos (Cuadro 4). Aunque se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), los impactos de alta intensidad pueden ocurrir en cualquier etapa de empaqueo. Sin embargo, en la etapa 1 ocurren los impactos de mayor valor (Cuadro 4). El promedio de impactos total que registró el sensor, en las etapas evaluadas fue diferente ($p < 0.05$). La etapa 1 (vaciado de frutos) fue la del promedio de intensidad más alto y la etapa 2 (rodillos y cepillos) registró el menor promedio de intensidad del total de impactos registrados. Aunque en la etapa de vaciado de fruto se tiene el menor número de impactos, es donde el fruto sufre más impactos máximos con mayor intensidad.

due to the fact that the sensor recorded a large number of impacts with values lower than 1 kgF and few impacts greater than 5 kgF.

Comparison between selection and packing line stages

The number of impacts, the maximum and average impact of total impacts recorded by the sensor was different between the packing stages. Stage 2 was where the greatest number of impacts were recorded and in stages 1 and 4 there were fewer impacts (Table 4). Although there were statistical differences ($p < 0.05$), high intensity impacts can occur at any stage of packaging. However, in stage 1, impacts of higher value occur (Table 4). The mean total impact recorded by the sensor in the evaluated stages was different ($p < 0.05$). Stage 1 (fruit emptying) was the highest average intensity and stage 2 (rollers and brushes) recorded the lowest average intensity of total recorded impacts. Although in the stage of emptying of fruit has the smallest number of impacts, it is where the fruit suffers more maximum impacts with greater intensity.

Cuadro 4. Diferencias en el número e intensidad de impactos recibidos por el fruto de aguacate 'Hass' en las etapas de la línea de empaqueo en cuatro empacadoras.

Table 4. Differences in the number and intensity of impacts received by avocado 'Hass' fruit in the stages of the packaging line in four packing machines.

Etapas	Núm. de impactos	Promedio impacto máximo (kgF)	Promedio intensidad de impactos totales (kgF)
1	6.1 c	8.5 a	2.9 a
2	45.6 a	6.7 ab	1 c
3	14.9 b	6.6 b	1.9 b
4	7.6 c	6.0 b	1.9 b
Pr>F	<0.0001	0.026	<0.0001

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Waller-Duncan, $p \leq 0.05$).

Fruit stripping speed

The number of impacts recorded between the speeds evaluated was similar and was between 6.1 impact on the highest speed and 3.5 impacts on the lowest speed. The average maximum impact and the average total impacts were also similar among the three velocities evaluated. The maximum intensity impact was between 6.3 and 8.6 kgF. The

Velocidad de banda de vaciado de frutos

El número de impactos registrados entre las velocidades evaluadas fue similar y estuvo entre 6.1 impacto en la velocidad más alta y 3.5 impactos en la velocidad más baja. El promedio de impacto máximo y el promedio de impactos totales también fue similar entre las tres velocidades evaluadas. El impacto de máxima intensidad estuvo entre 6.3 y 8.6 kgF. El promedio del total de impactos registrados estuvo entre 2.4 y 3.9 kgF ($p > 0.05$). Esto indica que, aunque se reduzca la velocidad de la banda de vaciado, la altura de caída de los frutos sigue siendo la misma, por lo que reducir la velocidad no disminuye la intensidad de los impactos.

Yull *et al.* (2015) reportaron diferencias en el número de impactos en tres empacadoras de manzana, con 50, 42 y 28 impactos respectivamente. En empacadoras de naranjas reportaron 89 impactos en promedio. Aunque el proceso de empacado para aguacates, manzanas y naranjas tiene diferencias, en aguacate no se presentaron diferencias entre empacadoras como se presentó en empacadoras de manzana. El número de impactos a los que están expuestos ambos frutos son similares, alrededor de 40 impactos. Aunque el número de impactos entre empacadoras de aguacate y manzanas fue similar y en naranjas fue mayor, la intensidad de los impactos fue menor en manzanas y naranjas, según lo reportado por Ferreira *et al.* (2005).

Mientras que en aguacate el impacto de mayor intensidad fue de 9.9 kgf, en manzanas y naranjas apenas alcanzaron 3 kgf. En otro estudio hecho en empacadoras de tomate se registraron impactos entre 1.5 kgF y 30 kgF utilizando un acelerómetro triaxial (Ferreira *et al.*, 2005). La diferencia entre empacadoras pudiera deberse a que la sensibilidad de los frutos a los impactos es debido a la conformación anatómica y morfológica de fruto, pero también influye el diseño de la línea de empacado.

Sin duda que el proceso de empacado en tomate (Ferreira *et al.*, 2005), durazno (Ahmadi *et al.*, 2010), manzana (Yull *et al.*, 2015) y cítricos (Miller *et al.*, 1991) es diferente. Sin embargo, se ha reportado que la etapa de vaciado de frutos es la etapa con impactos de alta intensidad en todo el proceso de empacado de frutos, similar a lo encontrado en la presente investigación. En aguacate la etapa de vaciado de frutos se realiza con máquinas volteadoras que dejan caer los frutos sobre una superficie acolchada de 0.4 m de longitud y lleva a los frutos a una banda de rodillos de plástico o metal, por

average of the total impacts recorded was between 2.4 and 3.9 kgF ($p > 0.05$). This indicates that, even if the speed of the drainage belt is reduced, the height of falling of the fruits remains the same, so reducing the speed does not reduce the intensity of the impacts.

Yull *et al.* (2015) reported differences in the number of impacts in three apple packers, with 50, 42 and 28 impacts respectively. In orange packers, they reported 89 impacts on average. Although the packaging process for avocados, apples and oranges has differences, in avocado there were no differences between packers as presented in apple packers. The number of impacts to which both fruits are exposed are similar, around 40 impacts. Although the number of impacts between avocado and apples packers was similar and in oranges was higher, the impact intensity was lower in apples and oranges, as reported by Ferreira *et al.* (2005).

While in avocado the impact of greater intensity was of 9.9 kgf, in apples and oranges barely reached 3 kgf. In another study done in tomato packers, impacts between 1.5 kgF and 30 kgF were recorded using a triaxial accelerometer (Ferreira *et al.*, 2005). The difference between packers may be due to the sensitivity of the fruits to the impacts due to the anatomical and morphological conformation of the fruit, but also the design of the packaging line.

However, it is not surprising that the packing process in tomato (Ferreira *et al.*, 2005), peach (Ahmadi *et al.*, 2010), apple (Yull *et al.*, 2015) and citrus (Miller *et al.*, 1991) is different. However, it has been reported that the stage of fruit emptying is the stage with high intensity impacts throughout the fruit packing process, similar to what was found in the present investigation. In avocado the stage of emptying of fruits is realized with turning machines that drop the fruits on a cushioned surface of 0.4 m of length and takes to the fruits to a band of rollers of plastic or metal, reason why the shock of the fruits with the rollers causes the impacts. Lowering the speed of the machine reduces the number of impacts, but not the intensity.

Study 2. Detection of the effects of impacts on the internal quality of the fruit avocado 'Hass'

No treatment damaged the skin of the fruit so that the induced impacts did not affect its external quality. However, the internal quality of the fruit was affected by the type of impact of each treatment ($p > 0.05$) (Figures 2 and 3).

lo que el choque de los frutos con los rodillos ocasiona los impactos. Bajar la velocidad de la máquina reduce el número de impactos, pero no la intensidad.

Estudio 2. Detección de los efectos de los impactos sobre la calidad interna del fruto aguacate 'Hass'

Ningún tratamiento dañó la piel del fruto por lo que los impactos inducidos no afectaron su calidad externa. Sin embargo, la calidad interna del fruto sí fue afectada por el tipo de impacto de cada tratamiento ($p > 0.05$) (Figuras 2 y 3).

Los tratamientos con placa de madera y madera + dulona fueron los que no afectaron la calidad interna del fruto en madurez de consumo. Esto mismo pasó con los tratamientos 13 y 14 con metal liso (Cuadro 5). El resto de los tratamientos presentó valores superiores a 5% de frutos con daños, siendo los más altos los de superficie de metal con las alturas más altas (tratamientos 15 y 16), esto debido a que materiales más duros y compactos tienen efecto sobre la intensidad del impacto y se aumenta con la altura de la caída.

Los resultados del estudio indican que los impactos a la calidad interna del fruto se vuelven un problema en madurez de consumo, donde la satisfacción del consumidor se ve afectada por la calidad del fruto. El consumidor juzga la calidad del fruto con base a su apariencia y reduce la aceptación si hay daños (Oprara *et al.*, 2014). Los impactos más importantes en los procesos de selección y empaclado en algunos frutos son los que ocurren entre frutos, así como al caer e impactarse con superficies de la maquinaria (Van-Zeebroeck *et al.*, 2007) como lo ocurrido en el presente estudio. Aunque en algunos estudios no se reporta la intensidad de los impactos, sí se menciona el efecto sobre el deterioro de la calidad en madurez de consumo (Ahmadi *et al.*, 2010).

Estudio 3. Efectos de la magnitud del impacto y la refrigeración sobre la calidad en madurez de consumo de aguacate 'Hass'

Frutos refrigerados por 14 días

A 14 días de refrigeración la firmeza de los frutos fue diferente entre tratamientos al final de la refrigeración y en madurez de consumo ($p < 0.05$). Los frutos del tratamiento 2 presentaron la menor firmeza al final de la refrigeración y en madurez de consumo (metal liso/0.5 m). Los frutos de los tratamientos metal liso (0.6 m), placa de metal recubierta (0.6 m), tubos de PVC (0.6 m), frutos (0.5 m) y tubo de metal (0.5 m) fueron

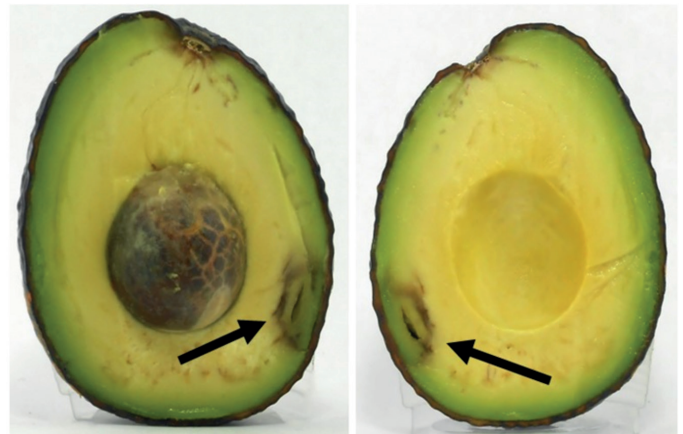


Figura 2. Oscurecimiento y cavidades de aire en la pulpa de aguacate 'Hass' causados por impactos inducidos.
Figure 2. Darkening and air cavities in the avocado 'Hass' pulp caused by induced impacts.

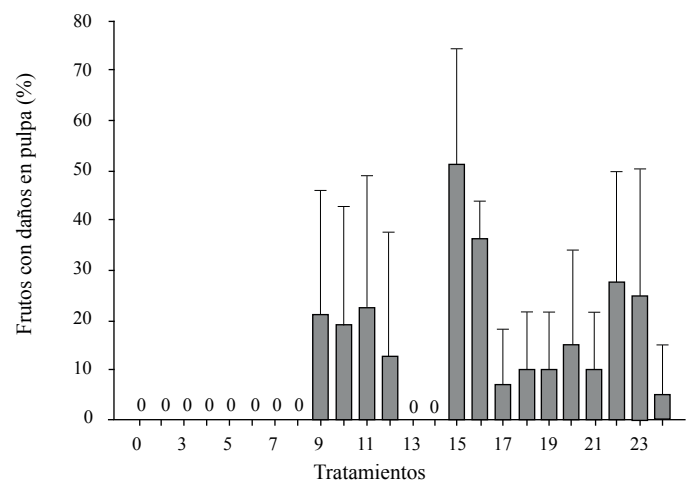


Figura 3. Efecto de los tratamientos (Cuadro 1) de impactos evaluados sobre la proporción de frutos con oscurecimiento y cavidades de aire en la pulpa en madurez de consumo.

Figure 3. Effect of treatments evaluated (Table 1) on the proportion of darkening fruits and air cavities in the pulp at maturity of consumption.

The treatments with wood and wood + dulona plates were those that did not affect the internal quality of the fruit at maturity of consumption. The same happened with treatments 13 and 14 with smooth metal (Table 5). The rest of the treatments presented values higher than 5% of fruits with damages, the highest being those of metal surface with the highest heights (treatments 15 and 16), this because harder and more compact materials have an effect on the intensity of the impact and is increased with the height of the fall.

de mayor firmeza al final de la refrigeración y en madurez de consumo. Pero el tratamiento 1 fue más firme en madurez de consumo. Los tratamientos placa de metal recubierta (0.4 m), placa de metal recubierta (0.5 m), tubos de PVC (0.4 m), frutos (0.6 m), tubo de metal (0.4 m) y tubo de metal (0.6 m) en madurez de consumo presentaron una firmeza de 1 kgF (Figura 4). Aunque al final de 14 días de refrigeración la pérdida de masa fue similar, en madurez de consumo fue diferente ($p < 0.05$), pero ningún tratamiento superó 8% de pérdida.

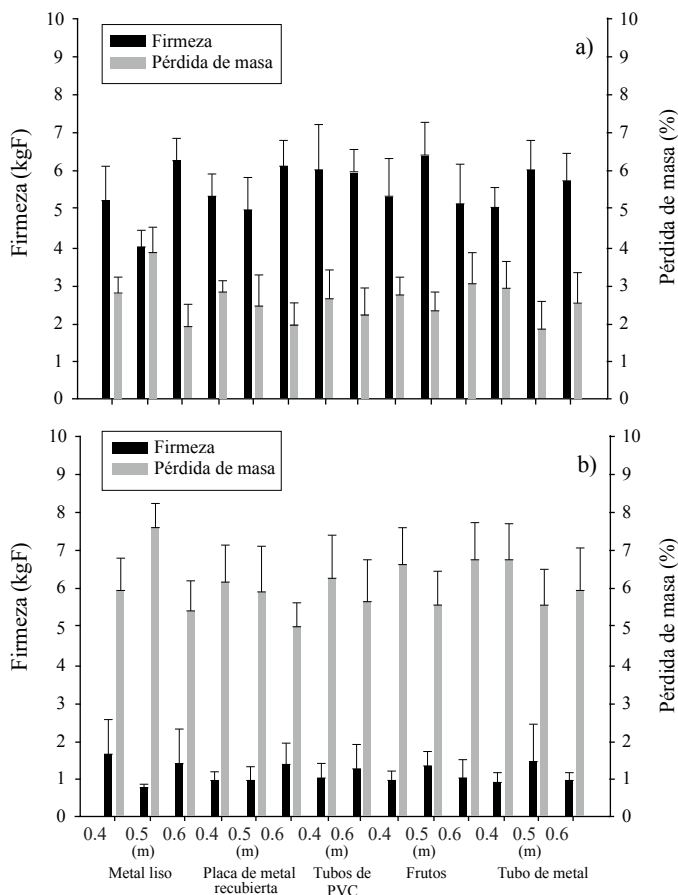


Figura 4. Promedio de la firmeza y pérdida de masa de frutos refrigerados ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\% \pm 10\%$ HR) por 14 días (a); y después de ser trasladados a temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\% \pm 10\%$ HR) hasta madurez de consumo (b).

Figure 4. Average firmness and mass loss of refrigerated fruits ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85\% \pm 10\%$ HR) for 14 days (a); and after being transferred to room temperature ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $75\% \pm 10\%$ HR) until consumption maturity (b).

En madurez de consumo, la calidad interna del fruto fue similar entre tratamientos ($p < 0.05$). Los tratamientos metal liso (0.5 m), placa de metal recubierta (0.4 m), tubos de PVC

The results of the study indicate that the impacts to internal quality of the fruit become a problem in consumer maturity, where consumer satisfaction is affected by fruit quality. The consumer judges the quality of the fruit based on its appearance and reduces acceptance if there is damage (Oprara *et al.*, 2014). The most important impacts in the selection and packing processes in some fruits are those that occur between fruits, as well as falling and impacting with machine surfaces (Van-Zeebroeck *et al.*, 2007) as occurred in the present study. Although the intensity of impacts is not reported in some studies, the effect on quality deterioration at maturity is mentioned (Ahmadi *et al.*, 2010).

Study 3. Effects of the magnitude of the impact and the cooling on the quality in maturity of consumption of 'Hass'

Fruits refrigerated for 14 days

At 14 days of cooling the firmness of the fruits was different between treatments at the end of the cooling and at maturity of consumption ($p < 0.05$). The fruits of treatment 2 presented the lowest firmness at the end of the cooling and at maturity of consumption (mooth metal/0.5 m). The fruits of treatments (0.6 m), coated metal plate (0.6 m), PVC (0.6 m) tubes, fruits (0.5 m) and metal tube (0.5 m) were more firm at the end of the treatment refrigeration and consumption maturity. But treatment 1 was the strongest at maturity of consumption. The treatments covered metal plate (0.4 m), coated metal plate (0.5 m), PVC tubes (0.4 m), fruits (0.6 m), metal tube (0.4 m) and metal tube (0.6 m) in consumption maturity presented a firmness of 1 kgF (Figure 4). Although at the end of the 14 days of refrigeration the loss of mass was similar, at maturity of consumption it was different ($p < 0.05$), but no treatment exceeded 8% of loss.

At maturity of consumption, the internal quality of the fruit was similar between treatments ($p < 0.05$). Metal treatments (0.5 m), coated metal plate (0.4 m), PVC pipes (0.4 m), PVC pipes (0.6 m), fruits (0.6 m) and metal tube (0.4 m) were not damaged in the internal quality. However, the remaining treatments showed darkening and small air cavities in the pulp (Table 5).

Fruits refrigerated for 28 days

At the end of the 28 days of refrigeration and at maturity of consumption the firmness was different ($p < 0.05$) among the treatments evaluated. At the end of the cooling the firmness of all the treatments was below 4 kgf (close to the firmness of maturity of consumption, 1.5 kgF) and in maturity of

(0.4 m), tubos de PVC (0.6 m), frutos (0.6 m) y tubo de metal (0.4 m) no presentaron daños en calidad interna. Sin embargo, el resto de los tratamientos mostraron oscurecimiento y pequeñas cavidades de aire en la pulpa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Calidad interna de frutos refrigerado ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\% \pm 10\%$ HR) por 14 y 28 días y trasladado a temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\% \pm 10\%$ HR) hasta madurez de consumo.

Table 5. Internal quality of refrigerated fruits ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85\% \pm 10\%$ HR) for 14 and 28 days and transferred at room temperature ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $75\% \pm 10\%$ HR) until maturity of consumption.

Tratamiento	Tiempo en refrigeración	
	14 días	28 días
1	0.15 a	0.65 a
2	0 a	0.4 ab
3	0.1 a	0.33 abc
4	0 a	0.27 bcd
5	0.05 a	0.26 bcd
6	0.05 a	0.25 bcd
7	0 a	0.2 bcd
8	No se realizó	0.2 bcd
9	0 a	0.17 bcd
10	0.1 a	0.11 bcd
11	0.1 a	No se realizó
12	0 a	0.05 cd
13	0 a	0.05 cd
14	0.1 a	0.05 cd
15	0.05 a	0 d
Pr>F	0.086 a	<0.0001

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Waller-Duncan, $p < 0.05$).

Frutos refrigerados por 28 días

Al final de los 28 días de refrigeración y en madurez de consumo la firmeza fue diferente ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados. Al término de la refrigeración la firmeza de todos los tratamientos estaba por debajo de 4 kgf (cerca a la firmeza de madurez de consumo, 1.5 kgf) y en madurez de consumo la firmeza de todos los frutos fue menor de 1.2 kgf, esta firmeza se alcanzó tres días después del traslado a temperatura ambiente (Figura 5). La pérdida de masa, al final de los 28 días de refrigeración y en madurez de consumo, fue similar entre tratamientos. Al final de la refrigeración (día 28) la mayoría de los tratamientos había

consumption the firmness of all the fruits was less of 1.2 kgf, this firmness reached three days after the transfer at room temperature (Figure 5). The loss of mass, at the end of 28 days of refrigeration and at maturity of consumption, was similar between treatments. At the end of the cooling (day 28) the majority of the treatments had exceeded 5% of mass loss and in maturity of consumption exceeded 10%. Although no differences were found in the loss of mass, these percentages at maturity of consumption cause fruit wilt (Herrera-González *et al.*, 2013) (Figure 5). In consumer maturity the internal quality was differentiated between the treatments ($p < 0.05$). With the exception of treatment 15 (metal tube, 0.6 m), the other treatments presented darkening and air cavities in the fruit pulp in different degrees (Table 5).

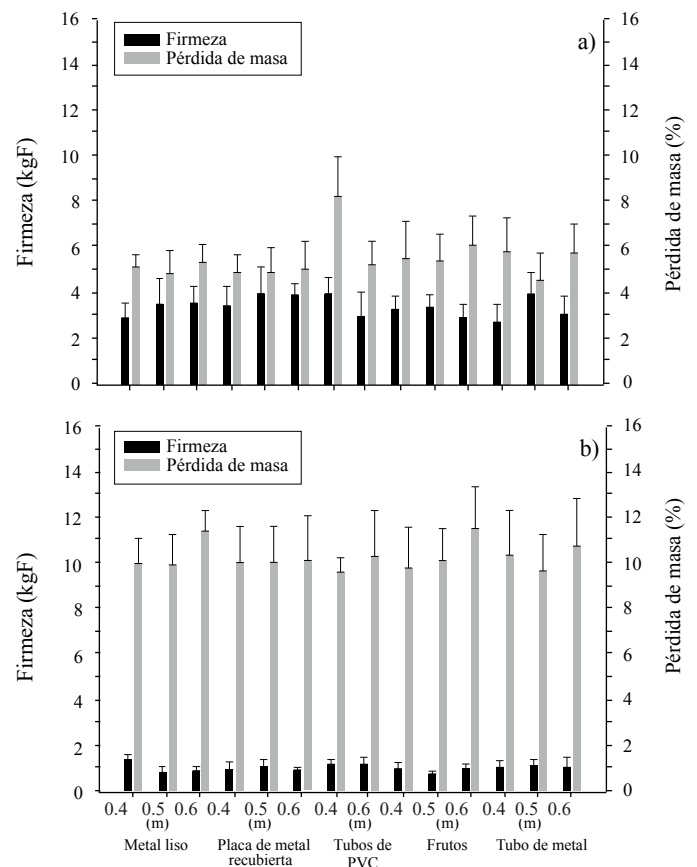


Figura 5. Promedio de la firmeza y pérdida de masa de frutos refrigerados ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\% \pm 10\%$ HR) por 28 días (a); y trasladados a temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\% \pm 10\%$ HR) hasta madurez de consumo (b).

Figure 5. Mean of firmness and mass loss of refrigerated fruits ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85\% \pm 10\%$ HR) for 28 days (a); and transferred at room temperature ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $75\% \pm 10\%$ HR) until consumption maturity (b).

superado 5% de pérdida de masa y en madurez de consumo superaron 10%. Aunque no se encontraron diferencias en la pérdida de masa, estos porcentajes en madurez de consumo ocasionan marchitez del fruto (Herrera-González *et al.*, 2013) (Figura 5). En madurez de consumo la calidad interna se diferenció entre los tratamientos ($p < 0.05$). Con excepción del tratamiento 15 (tubo de metal, 0.6 m), los demás tratamientos presentaron oscurecimientos y cavidades de aire en la pulpa del fruto en diferentes grados (Cuadro 5).

La pérdida de la firmeza, de masa y de calidad interna fue más notoria en los frutos almacenados por 28 días. El periodo prolongado en refrigeración y el impacto inducido afectaron la fisiología del fruto (Pedreschi *et al.*, 2016), acelerando la actividad enzimática y la degradación de las protopectinas (Zhou *et al.*, 2007). Aunque en precosecha, el manejo cultural, la fertilización y la madurez de cosecha le confieran al fruto mayor firmeza, tolerancia al estrés mecánico y menor deshidratación, largos periodos de refrigeración vuelven al fruto menos tolerante y más susceptible al daño mecánico y desórdenes fisiológicos (Pasini *et al.*, 2004).

Escala de evaluación 0= 0%; 0.5= 5%; 1= 10%; 1.5= 15% de pulpa con oscurecimiento y cavidades de aire en la pulpa del fruto (White and Woolf, 2005).

Conclusiones

La exposición de los frutos de aguacate ‘Hass’ a los impactos en la línea de selección fue similar entre las empacadoras evaluadas. Sin embargo, en algunas empacadoras se registraron impactos más fuertes que otras. La etapa en la que ocurren los impactos de mayor intensidad fue la banda de vaciado de frutos y la reducción de la velocidad de esta banda no disminuyó la cantidad ni la intensidad de los impactos. Los impactos inducidos (similares a los ocurridos en las empacadoras) no afectaron la calidad externa del fruto, pero sí la calidad interna lo cual se vuelve evidente hasta madurez de consumo. El daño se caracterizó como oscurecimiento y cavidades de aire en la pulpa. Largos periodos de refrigeración afectan la calidad de los frutos cuando estos son expuestos a impactos de cualquier magnitud y sobre cualquier superficie.

The loss of firmness, mass and internal quality was more evident in the fruits stored for 28 days. The long period in refrigeration and the induced impact affected the physiology of the fruit (Pedreschi *et al.*, 2016), accelerating the enzymatic activity and the degradation of the protopectins (Zhou *et al.*, 2007). Although in pre-harvest, crop management, fertilization and crop maturity confer greater firmness, tolerance to mechanical stress and less dehydration, long periods of refrigeration render the fruit less tolerant and more susceptible to mechanical damage and physiological disorders (Pasini *et al.*, 2004).

Evaluation scale 0= 0%; 0.5= 5%; 1= 10%; 1.5= 15% pulp with darkening and air cavities in the fruit pulp (White and Woolf, 2005).

Conclusions

The exposure of the avocado ‘Hass’ fruits to the impacts in the selection line was similar between the packers evaluated. However, some packers had stronger impacts than others. The stage in which the impacts of greater intensity occurred was the band of emptying of fruits and the reduction of the speed of this band did not diminish the quantity and the intensity of the impacts. Induced impacts (similar to those occurring in the packers) did not affect the external quality of the fruit, but the internal quality becomes evident until the maturity of consumption. The damage was characterized as darkening and air cavities in the pulp. Long periods of cooling affect the quality of the fruits when they are exposed to impacts of any magnitude and on any surface.

End of the English version



Literatura citada

Ahmadi, E.; Ghassemzadeh, H. R.; Sadeghi, M.; Moghaddam, M. and Neshat, S. Z. 2010. The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. *J. Food Eng.* 97(1):110-117.

- Bill, M.; Sivakumar, D.; Beukes, M. and Korsten, L. 2016. Expression of pathogenesis-related (PR) genes in avocados fumigated with thyme oil vapours and control of anthracnose. *Food Chem.* 194: 938-943.
- Bollen, A. F.; Cox, N. R.; Dela Rue, B. T. and Painter, D. J. 2001. PH-Postharvest Technology. *J. Agric. Eng. Res.* 78(4):391-395.
- Desmet, M.; Van-Linden, V.; Hertog, M. L. A. T. M.; Verlinden, B. E.; De Baerdemaeker, J. and Nicolai, B. M. 2004. Instrumented sphere prediction of tomato stem-puncture injury. *Postharvest Biol. Technol.* 34(1):81-92.
- Ferreira, M. D.; Ferraz, A. C. O. and Franco, A. T. O. 2005. Tomato packing lines studies with an instrumented sphere in Brazil. *Acta Hort.* 682:1753-1760.
- Herrera-González, J. A.; Salazar-García, S.; Gutiérrez-Martínez, P. and González-Duran, J. I. 2013. El comportamiento poscosecha de frutos de aguacate "Hass" es influenciado por el portainjerto. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 4(1):19-32.
- Jarimopas, B.; Singh, S. P.; Sayasoonthorn, S. and Singh, J. 2007. Comparison of package cushioning materials to protect post-harvest impact damage to apples. *Packaging Technology and Science.* 20(5):315-324.
- Miller, W. M.; Wagner, C. J. and Alfred, L. 1991. Impact studies in Florida citrus packinghouses using an instrumented sphere. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society.* 38(6):52-54.
- Opara, U. L. and Pathare, P. B. 2014. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce-A review. *Postharvest Biol. Technol.* 91:9-24.
- Pallottino, F.; Costa, C.; Menesatti, P. and Moresi, M. 2009. Compression testing of orange fruits. *Chem. Eng. Transac.* 17:885-890.
- Pasini, L.; Ragni, L.; Rombolà, A. D.; Berardinelli, A.; Guarnieri, A. and Marangoni, B. 2004. Influence of the fertilisation system on the mechanical damage of apples. *Bios. Eng.* 88(4):441-452.
- Pedreschi, R.; Hollak, S.; Harkema, H.; Otma, E.; Robledo, P.; Westra, E. and Defilippi, B. G. 2016. Impact of postharvest ripening strategies on "Hass" avocado fatty acid profiles. *South African J. Bot.* 103: 32-35.
- Sablani, S. S.; Opara, L. U. and Al-Balushi, K. 2006. Influence of bruising and storage temperature on vitamin C content of tomato fruit. *J. Food Agric. Environ.* 4(1):54-56.
- SAS. 2008. SAS Institute Inc. SAS 9.1.3 help and documentation. SAS/STAT® 9.2. Retrieved from https://www.sas.com/en_us/software/sas9.html.
- Toivonen, P. M. A.; Hampson, C.; Stan, S.; McKenzie, D. L. and Hocking, R. 2007. Factors affecting severity of bruises and degree of apparent bruise recovery in a yellow-skinned apple. *Postharvest Biol. Technol.* 45(2):276-280.
- Van-Linden, V.; Scheerlinck, N.; Desmet, M. and De Baerdemaeker, J. 2006. Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact. *Postharvest Biol. Technol.* 42(3):260-270.
- Van-Linden, V.; Sila, D. N.; Duvetter, T.; De Baerdemaeker, J. and Hendrickx, M. 2008. Effect of mechanical impact-bruising on polygalacturonase and pectinmethylesterase activity and pectic cell wall components in tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 47(1):98-106.
- Van-Zeebroeck, M.; Van-Linden, V.; Ramon, H.; De Baerdemaeker, J.; Nicolai, B. M. and Tijskens, E. 2007. Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biol. Technol.* 45(2):157-167.
- White, A. and Woolf, A. 2005. The international avocado quality manual, Auckland, New Zealand. 72 p.
- Yull, H. H.; Fruett, F.; Antonioli, L.; Oliveira, T. D.; Poletto, F. and Ferreira, M. D. 2015. Impact measurement on apple and orange packinghouses using a wireless instrumented sphere. *Chem. Eng. Transac.* 44: 97-102.
- Yurtlu, Y. B. and Erdoğan, D. 2005. Effect of storage time on some mechanical properties and bruise susceptibility of pears and apples. *Turk. J. Agric. Fores.* 29(6):469-482.
- Zhou, R.; Su, S.; Yan, L. and Li, Y. 2007. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua). *Postharvest Biol. Technol.* 46(1):20-28.