

# ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACION DE LA MADUREZ POST-RECOLECCION DE AGUACATE

## NON DESTRUCTIVE TEST TO EVALUATE POST-HARVEST MATURITY IN AVOCADOS

Paulo César Corrêa<sup>1</sup>, José Luis de la Plaza Pérez<sup>2</sup> y Margarita Ruiz Altisent<sup>3</sup>

### RESUMEN

Se presenta el estudio de los parámetros mecánicos, resultantes de impactos controlados, en la evaluación del estado de madurez de aguacate "Hass", comparados con la firmeza de la pulpa, índice ya tradicionalmente utilizado para ese fin.

Se ha comprobado que el impacto, en las condiciones de trabajo, resulta no destructivo y puede utilizarse para la determinación del estado de madurez de estos frutos. Por otro lado, los resultados obtenidos para los dos lotes, con y sin absorbedor de etileno, son similares, aunque el tratamiento con absorbedor presenta un retraso en el tiempo, evidenciando su efecto en retardar el proceso de maduración plena de los frutos.

### SUMMARY

This paper presents a study of mechanical parameters resulted from controled impacts in the evaluation of avocado "Hass" fruit ripeness, compared to pulp firmness, the traditional index used for that purpose. The results showed that, under the experimental conditions, the impact was not destructive and could be used to determine ripeness conditions of avocado fruits. On the other hand, the results from the fruits with and with out ethylene environment were similar. However, the treatment with ethylene absorber showed a delay in the fruit ripeness process.

Palabras índices adicionales: Aguacate (*Persea americana* Mill.), maduración, impactos mecánicos controlados.

### INTRODUCCION

La firmeza de la pulpa de los frutos consiste en la resistencia a la deformación y al esfuerzo cortante. Ella se relaciona con las característi-

cas de las paredes celulares y con la resistencia de las uniones intracelulares y depende en parte del grado de madurez del fruto. Su determinación se hace en forma destructiva, midiendo la fuerza necesaria para la penetración, de un penetrómetro dotado de un cilindro que se introduce en el fruto, normalmente sin piel. En los últimos años se viene realizando extensa investigación dirigida a la detección no destructiva del grado de madurez de los frutos. Para ese fin, diversos sistemas y técnicas han sido desarrollados y experimentados: vibraciones mecánicas, frecuencia de pulsaciones sonoras, reflexión en el infrarrojo cercano, resonancia nuclear magnética, etc. Sin embar-

Recepción: 01 - 03 - 95

Aprobado: 09 - 06 - 95

<sup>1</sup> Profesor Titular. Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, 36.570-000 - Viçosa-MG, Brazil.

<sup>2</sup> Profesor de Investigación, Instituto del Frío, CSIC - 28040 - Madrid, España.

<sup>3</sup> Profesor Titular - Ingeniería Rural UPM - 28040 - Madrid, España.

go, la aplicación de estas técnicas en procesos reales para la obtención automática de datos está limitada, principalmente por la necesidad de cambios en la manipulación de los frutos y la dificultad de instalación de las superficies sensibles. La técnica de detectar el estado de madurez del fruto por las relaciones existentes entre los parámetros mecánicos, que caracterizan la respuesta al impacto mecánico no destructivo y la firmeza, presenta diversas ventajas sobre otras técnicas. De ellas se puede citar la manipulación mínima de los frutos, la no necesidad de sensores acoplados en la superficie del fruto, además del potencial de utilización comercial en procesos reales, con productividad  $> 1$  fruto/s (Delwiche *et al.* 1989). Varios investigadores han utilizado equipos de ensayo con impactadores y controlados por ordenador, para el estudio de la resistencia al impacto con el fin de evaluar la susceptibilidad a los daños que pueden ocurrir. Así, Chen *et al.* (1985), Delwiche (1987), Jaren (1990), y Ruiz-Altisent (1990) han realizado avances en el diseño y aplicaciones de un dispositivo para las determinaciones de las respuestas al impacto en frutos. En estos trabajos se ha podido observar una evidente relación entre los parámetros resultantes del impacto y el grado de madurez. Se comprueba también que un pequeño impacto que no resulta en daño significativo al fruto puede ofrecer datos e informaciones fiables y útiles en la clasificación de frutos según el estado de madurez.

Los frutos sufren tras la recolección diversos cambios físico-químicos que determinan su calidad al ser consumidos. Un complejo conjunto de transformaciones resulta en la maduración. El etileno, biosintetizado autocatalíticamente por el fruto desencadena el proceso de maduración seguido de la senescencia y posterior muerte. En la práctica, la maduración y senescencia pueden ser retrasados manteniendo el etileno a muy bajas concentraciones en la cámara de conservación. Varios estudios de la aplicación del absorbedor de etileno de fabricación española "Green Keeper", en la conservación de diferentes especies de frutas y hortalizas tanto climatéricas como no climatéricas e incluso flores, han sido desarrollados en el Instituto del Frío, Csic, España, en los últimos años.

## MATERIAL Y METODOS

### Frutos

Se utilizó la variedad "Hass" cuyos frutos procedían de una plantación de Málaga (España), donde fueron recolectados el 29 de mayo de 1992. La recepción en el laboratorio fue al día siguiente. Tras una rigurosa selección por tamaño, madurez y estado sanitario, los ensayos se iniciaron el 30 de mayo.

### Condiciones del Ensayo

Los frutos fueron acondicionados en cajas de plástico para fruta envueltas en bolsas selladas de polietileno de baja densidad de espesor 100 galgas (0,025 mm) y mantenidos a temperatura de  $+ 20^{\circ}\text{C}$ , por un período de 11 días. Se establecieron dos lotes, uno sin absorbedor de etileno y otro con absorbedor "Green Keeper" a la dosis de 9,5 g/kg de fruto. Los ensayos se realizaron para los dos lotes al primer día y a los 5, 7, 9 y 11 días desde la fecha inicial. Cada caja con diez frutos se constituyó en una unidad de muestreo.

### Técnicas Analíticas

a) Impactos mecánicos. Fue utilizado un equipo de ensayo de impacto controlado por ordenador con impactador de 49,29 g y altura de caída de 4 cm. El sistema básicamente consiste en un impactador de acero con punta esférica, el cual puede caer desde alturas variables sobre el fruto a ensayar. Todo el conjunto está controlado por ordenador personal dotado de un software para la captación, transformación y representación de los parámetros mecánicos que resultan del impacto.

b) Firmeza. La firmeza de la pulpa se midió utilizando doble pletina acoplada a una máquina universal de ensayos (Instron 1140), expresando la resistencia a la penetración.

Las mediciones se realizaron en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial del fruto en cinco frutos, extraídos al azar, de cada lote.

## RESULTADOS

Del análisis de la totalidad de los resultados se posibilitó la selección de los parámetros del impacto que presentan mayor grado de correlación con la firmeza de la pulpa (Tabla 1). Los resultados obtenidos de los ensayos se recogen en la Tabla 2 y corresponden a los valores medios de quince observaciones cada uno.

**Tabla 1.** Parámetros seleccionados e incluidos en los análisis de impactos mecánicos y firmeza en frutos de aguacate variedad Hass.

Variables	Unidades	Símbolos	
		S/ absorbedor	C/ absorbedor
Duración del impacto	ms	DUT	DUG
Pen. Fuerza/ Tiempo	kN/s	FTT	FTG
Pen. Fuerza/Deform.	N/mm	FDT	FDG
Módulo de Elasticidad	MN/m <sup>2</sup>	MET	MEG
Deformación Máxima	mm	DMT	DMG
Fuerza máx. de Penet.	N	FMT	FMG
Tiempo	días	—	—

Examinando los datos se aprecia el efecto de la aplicación del absorbedor de etileno en todos los parámetros estudiados. La aplicación del absorbedor permite rebajar la concentración del etileno en la atmósfera de las unidades de muestreo (cajas), que, en conjunción con la atmósfera modificada y saturada de vapor de agua, generada en las bolsas de polietileno, retrasa la maduración.

Las atmósferas generadas en el interior de las cajas envueltas en polietileno, con concentraciones elevadas de dióxido de carbono y bajas en oxígeno, disminuyen la sensibilidad o respuesta de los frutos al etileno retrasando por tanto el proceso de maduración. La adición del absorbedor acentúa este efecto manteniendo, durante el período de conservación, baja concentración del etileno.

## Evolución de la Firmeza

En la Tabla 2 se observa claramente la pérdida de dureza de los frutos, signo evidente de la maduración. Para los dos lotes se observa que el descenso empieza a los 6 días. La influencia del absorbedor es muy clara, al observar que al final de la experiencia los frutos presentaron una dureza de 20 N, a la vez que, los sin absorbedor llegaban, a esta fecha, con valores próximos a 3 N, lo cual representa una condición de no comercializables.

## Parámetros Mecánicos del Impacto

De la totalidad de los parámetros mecánicos resultantes del impacto fueron seleccionados aquellos que presentaron correlaciones más estrechas con la firmeza de la pulpa, tomada como índice de madurez de referencia al presente estudio. Así se seleccionaron: duración del impacto, pendientes fuerza/ tiempo y fuerza/ deformación, deformación máxima y módulo de elasticidad. La correlación es directa para las pendientes y módulo de elasticidad e inversa para la duración del impacto y deformación máxima. La observación de los resultados de este experimento sugiere que la respuesta al impacto no destructivo puede ser tan indicativa del estado de madurez del aguacate como el índice de madurez, firmeza de la pulpa, ya tradicionalmente utilizado para ese fin. Obsérvese que los resultados obtenidos para los lotes son similares, aunque la aplicación del absorbedor de etileno presenta resultados retrasados en el tiempo, evidenciando su efecto en retardar el proceso de maduración de los frutos. Los datos obtenidos fueron sometidos a una serie de análisis de regresión con el objetivo de encontrar las ecuaciones o modelos matemáticos que mejor describen la re-

**Tabla 2.** Fuerzas máximas de penetración y parámetros del impacto en frutos de aguacate variedad Hass (datos medios de 15 observaciones).

DIAS	FMG N	FMT N	DUG ms	DUT ms	FTG kN/s	FTT kN/s	FDG N/mm	FDT N/mm	MEG MN/m <sup>2</sup>	MET MN/m <sup>2</sup>	DMG mm	DMT mm
0	76,46	76,46	2,75	2,75	66,72	66,72	93,03	93,03	31,17	31,17	0,85	0,85
5	74,65	75,73	2,84	2,79	65,39	67,21	90,55	89,41	30,02	30,40	0,88	0,84
7	68,01	67,76	2,90	2,90	54,50	52,47	73,65	70,60	23,72	22,31	0,89	0,90
9	60,82	40,02	3,13	3,72	50,31	35,87	68,46	47,20	21,72	13,85	0,91	0,99
11	22,27	3,14	3,87	4,92	36,92	26,72	47,08	33,14	15,00	10,06	1,07	1,27

lación de cada parámetro con la fuerza máxima de penetración. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Ecuaciones ajustadas de las variables del impacto mecánico con la fuerza máxima de penetración en frutos de aguacate variedad Hass. (Coefs. de correlaciones > 0,90).

Variabes	Ecuaciones
Duración del Impacto	DUG = $4,324 - 0,020 \cdot \text{FMG}$ DUT = $4,971 - 0,030 \cdot \text{FMT}$
Pendiente Fuerza / Deformación	FDG = $35,031 \cdot \text{EXP}(0,012 \cdot \text{FMG})$ FDT = $29,938 \cdot \text{EXP}(0,014 \cdot \text{FMT})$
Pendiente Fuerza / Tiempo	FTG = $28,462 \cdot \text{EXP}(0,010 \cdot \text{FMG})$ FTT = $24,137 \cdot \text{EXP}(0,013 \cdot \text{FMT})$
Módulo de Elasticidad	MEG = $10,888 \cdot \text{EXP}(0,013 \cdot \text{FMG})$ MET = $8,763 \cdot \text{EXP}(0,015 \cdot \text{FMT})$
Deformación Máxima	DMG = $1,165 \cdot \text{EXP}(-0,004 \cdot \text{FMG})$ DMT = $1,273 \cdot \text{EXP}(-0,005 \cdot \text{FMT})$

## CONCLUSIONES

De este estudio puede concluirse que los parámetros mecánicos resultantes del ensayo de impacto no destructivo: duración del impacto, pendientes fuerza / deformación y fuerza / tiempo, módulo de elasticidad y deformación máxima, son indicativos del estado de madurez post-recolección de aguacate. La aplicación del absorbedor de etileno en el propio envase envuelto con bolsas de polietileno es

una técnica de bajo costo y permite retrasar la maduración plena de los frutos.

## BIBLIOGRAFIA

1. CHEN, P.; S. TANG and S. ZONG. 1985. Instrument for testing the response of fruit to impact. ASAE, paper 85-3537.
2. DELWICHE, M.J. 1987. Theory of fruit firmness sorting by impact forces. Transactions of the ASAE (30) 4:1160-1166.
3. DELWICHE, M.J.; T.McDONALD and S.V. BOWERS. 1987a. Determination of peach firmness by analysis of impact forces. Transactions of the ASAE (3) 1:249-254.
4. DELWICHE, M.J.; S. TANG and J.J. MEHLSCHAU. 1989. An impact force response fruit firmness sorter. Transactions of the ASAE (32) 1:321-326.
5. JAREN, C.C. 1990. Efecto de los tratamientos con calcio sobre las propiedades físicas de la manzana. 22ª Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario Int. Sobre Daños por Impacto. Zaragoza, 119-122.
6. RUIZ ALTISENT, M. 1990. Parámetros del impacto en relación con la magulladura y con las propiedades de los frutos. 22ª Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario Int. Sobre Daños por Impacto. Zaragoza, 29-33.