

CUANTIFICACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD A MAGULLADURA EN FRUTOS DE HUESO EN TERMINOS PROBABILISTICOS

Barreiro; F. Garcia; M. Ruiz-Altisent
Dpto. Ingeniería Rural. ETSIA.
Avda Complutense s/n.
28.040 Madrid

J. R. Martín
Dpto. Inteligencia Artificial. Facultad de
Informática. Campus de Montegancedo s/n.
Boadilla del Monte.
28.660 Madrid

Abstract

This study is focused on defining an appropriate magnitude to characterise bruise susceptibility in stone fruits (peaches c.v. *Caterina* & *Sudanell*, and apricots c.v. *Búlida* & *Pepito*). Bruise onset in stone fruits appears to be more related to maximum deformation achieved during compression loading (an indicator of the mechanical response) than to the loading level (force) itself. Bruise onset directly leads to high bruise surfaces out of EC acceptance range (0.5cm² revealing the need of characterising bruise susceptibility as damage probability. Current study indicates the possibility of assessing bruise probability through a combination of mechanical response (maximum deformation during loading) and loading level (maximum force). Also mechanical response can be precisely assessed by a combination of instrumental "hand held hardness" and typology of rheological response.

Keywords: bruise susceptibility, peach, mechanical response, apricot

Resumen

El objetivo de este estudio es definir una magnitud que caracterice la susceptibilidad a daños mecánicos en frutos de hueso (melocotón cv. *Caterina* y *Sudanell* y albaricoque cv. *Búlida* y *Pepito*). La aparición de magulladura en frutos de hueso está más relacionada con la deformación máxima alcanzada durante una carga de compresión (indicativo de su respuesta mecánica) que con el nivel de carga (fuerza) en sí mismo. La aparición de magulladura va acompañada de elevadas superficies de daño lo que hace que los frutos al magullarse queden directamente fuera del rango de aceptación comunitario (0.5cm²). Este hecho indica la necesidad de caracterizar la susceptibilidad a magulladura como probabilidad de daño. Este estudio indica la posibilidad de establecer la probabilidad de daño mediante la combinación de la respuesta mecánica del fruto (deformación máxima) y el nivel de carga (fuerza). Asimismo la respuesta mecánica se puede establecer instrumentalmente mediante la "dureza al tacto" y la tipología de comportamiento reológico.

Palabras Clave: Susceptibilidad a daños, melocotón, albaricoque

1. Introducción

El Laboratorio de Propiedades Físicas de la ETSI Agrónomos de Madrid lleva trabajando en temas relacionados con la mejora de líneas de clasificación de frutas y hortalizas

desde 1992 (Jarén et al, 1992; Barreiro, 1995; García et al, 1996). La experiencia nos indica que la mejora de líneas de clasificación debe ser abordada desde dos aspectos complementarios: 1) la agresividad de la máquina y 2) la susceptibilidad del fruto a daños mecánicos.

La agresividad de la máquina puede establecerse como probabilidad de impactos de distinta intensidad mediante el uso de "frutos electrónicos" (Brown et al, 1990; Jarén et al, 1992; Schulte et al. 1993), mientras que la susceptibilidad del fruto a daños mecánicos se evalúa mediante ensayos de laboratorio (Chen et al. 1987; García et al 1988; Ruiz-Altisent 1991; Barreiro, 1995).

Los daños mecánicos afectan tanto a la piel como a la pulpa de los frutos denominándose rozaduras y magulladuras respectivamente. Las rozaduras merecedoras de estudio específico y no se abordarán en este artículo centrándonos en la definición de la susceptibilidad a daños por magulladura. Un fruto muestra un comportamiento reológico (resistencia a la deformación y el flujo) que permite establecer si se tratará de un material especialmente sensible a magulladuras causadas por tensión o por deformación. Así aquellas especies duras y rígidas como la manzana o la pera recién recolectadas tienden a "fallar" o magullarse por tensión, mientras que especies de carne más blanda como las "fresquillas" (melocotones tempranos) o los albaricoques tienden a magullarse por deformación. Esta categorización del material es fundamental para escoger el ensayo mecánico que caracterizará la susceptibilidad a daño de los frutos. Cuando un espécimen es más sensible a tensión que a deformación, el ensayo de susceptibilidad más adecuado son las cargas dinámicas o impactos (Ruiz-Altisent, 1991). Por el contrario si se trata de un espécimen de pulpa blanda el ensayo más adecuado para la determinación de la susceptibilidad a magulladuras es la compresión lenta de los frutos, ensayo de cargas quasi- estáticas. Barreiro en 1995 observa una mayor variabilidad en la superficie de daño equivalente obtenida en ensayos de susceptibilidad en laboratorio para las variedades de hueso cuando se comparan con variedades de pepita. Así dentro de una muestra homogénea en frutos de pepita la variabilidad obtenida en la superficie equivalente de magulladura para un mismo nivel de carga ($30g\ m/s^2$ de deceleración máxima) oscila entre 20 y 30mm² para manzana Golden. Mientras que la variabilidad en la superficie de daño para dicho nivel de carga oscila entre 30 y 150mm² para la variedad de melocotón Springtime. Por otra parte, en la mencionada variedad de hueso no todos los frutos muestran daño apreciable dentro de una misma muestra.

A pesar de los esfuerzos ya realizados para establecer criterios y algoritmos que permitan evaluar las líneas de clasificación en relación con las magulladuras (Barreiro, 1995), la complejidad que supone integrar los aspectos anteriores para modelizar las relaciones fruto-máquina ha impedido hasta ahora el desarrollo de una simulación realista de las líneas de clasificación. En la actualidad, el Laboratorio de Propiedades Físicas, en colaboración con la Facultad de Informática está centrando sus esfuerzos en el desarrollo de un simulador de daños en líneas de clasificación de frutas de hueso. Este artículo se presenta indispensable en la definición de las magnitudes que intervendrán como entradas en el modelo de simulación.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es la obtención de una magnitud asimilable a la susceptibilidad a magulladura capaz de integrar la peculiaridades específicas de las especies de hueso: estado de madurez, comportamiento reológico, y nivel de carga.

3. Materiales y Métodos

Los datos experimentales empleados en este estudio proceden del Proyecto PETRI 94-0082, ya finalizado, titulado mejoras en las técnicas de manipulación de fruta de hueso. Se dispone de datos correspondientes a dos campañas consecutivas (95 & 96) para las variedades de melocotón Caterina y Sudanell. Así como datos de albaricoque procedentes de la campaña 96 de las variedades Búlida y Pepito. En todos los casos se efectuó un diseño factorial orientado a la generación de una variabilidad en las características mecánicas y de susceptibilidad de los frutos similar a la habitualmente registrada en las cooperativas. Se aplicaron con este fin distintos: 1) tratamientos de pre-enfriamiento (testigo, aircooling e hidrocóoling), 2) periodos de evolución post-cosecha (0, 2 y 4 días a 2°C) y 3) niveles de carga (ligero y agresivo, seleccionados empíricamente entre 10N y 50N con el fin de generar superficies de magulladura inferiores y superiores al límite máximo admitido por la normativa CE, 50mm²). Se ensayaron 180 frutos por campaña y variedad, disponiéndose por tanto de un total de 1.080 frutos entre melocotón y albaricoque.

Los ensayos aplicados a estos frutos pueden resumirse de la siguiente manera:

Compresión quasi-estática de los frutos empleando una máquina universal de ensayos en la que se monta un vástago de cabeza semi-esférica de 19,5mm. El ensayo se realiza a una velocidad de carga constante de 20mm/min hasta alcanzar un valor de fuerza máxima (CFM, N) de acuerdo con los niveles de carga leve y agresivo anteriormente descrito. Una vez alcanzado el valor de carga máxima se detiene el cabezal manteniendo la deformación por un periodo de cuarenta segundos. Se registra la curva (fuerza-deformación) de respuesta reológica del material, sobre la que en principio se determinan como parámetros característicos: fuerza máxima (CFM, N), deformación (CDM, mm) a fuerza máxima, relación fuerza-deformación (CFD, N/mm) en el punto de carga máximo, y porcentaje de relajación de la tensión (RT, %) una vez transcurridos 40 segundos desde la parada del cabezal. Este ensayo se lleva a cabo para cada fruto con ambos niveles de carga (leve y agresivo) obteniéndose por tanto el doble de datos que frutos ensayados, es decir, 2.160 curvas de compresión quasi-estática.

Observación visual de las magulladuras. Se efectúa sobre la sección transversal del fruto, en la zona de aplicación de la carga. Se determina la presencia/ausencia de magulladura y en su caso la anchura y profundidad de la misma con el fin de calcular la superficie de daño equivalente (SUP, mm²; Barreiro, 1995)

Firmeza Magness Taylor de la pulpa. Se lleva a cabo con una máquina universal de ensayos en la que se monta un vástago cilíndrico de 8mm de diámetro. Como en el ensayo de compresión confinada, la velocidad de carga es constante e igual a 20mm/min. El punto final del ensayo se determina por la penetración máxima igual a 8mm. El valor de fuerza máxima de penetración (N) se emplea con la denominación Firmeza Magness-Taylor (N). Se efectúa una repetición del ensayo por fruto.

Contenido en Sólidos Solubles (°BRIX). Determinado mediante un refractómetro digital

4. Resultados y Discusión

Caracterización de las muestras. En la Tabla 1 se indica el intervalo intercuartiles (rango que contiene el 50% del conjunto de datos) obtenido en Firmeza Magness-Taylor (FMT, N) y en sólidos solubles (SS, °BRIX) para las distintas variedades ensayadas. Cuando se comparan estos valores con los niveles de referencia ofrecidos por el CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Francia) como de alto

valor gustativo (Melocotón: $FMT < 44.1N$ y $SS > 11^{\circ}BRIX$; Albaricoque: $FMT < 9.8N$ y $SS > 13^{\circ}BRIX$) se observa que: 1) las muestras de melocotón cumplen los valores fijados siendo el rango de firmeza muy inferior al máximo admitido, y 2) las muestras de albaricoques cumplen ampliamente los límites de sólidos solubles deseables siendo la máxima firmeza Magness-taylor obtenida en el intervalo intercuartiles superior al máximo recomendado.

Quantificación de la susceptibilidad a magulladura. Se ha llevado a cabo un estudio sobre la correlación entre el comportamiento de los frutos bajo carga quasi-estática y la superficie de magulladura equivalente. La Tabla 2 muestra los valores de coeficiente de correlación obtenidos entre ambos tipo de magnitudes para melocotones de la variedad Caterina; sólo los casos en que se ha producido magulladura se han empleado en el cálculo de los coeficientes de correlación lineal. El principal resultado que se deriva del análisis de los datos de la Tabla 2 es la ausencia de un único parámetro mecánico capaz de definir la respuesta a magulladura en las variedades de hueso ensayadas en términos de superficie equivalente de magulladura. Únicamente la deformación máxima registrada durante la carga quasi-estática presenta una correlación positiva y consistente (coeficiente de correlación entre 0.54 y 0.81 según variedades) con la superficie equivalente de magulladura. La Figura 1 muestra en un gráfico de individuos los valores de deformación máxima de los frutos (CDM, abscisas) en relación con los valores de superficie equivalente de magulladura (SUP, ordenadas) para las variedades de melocotón. Se han representado todas los individuos, incluidos aquellos en que no se produjo magulladura, observándose que incluso para valores elevados de deformación máxima existe una considerable cantidad de casos en los que no se produjo daño observable. Todo ello determinó la necesidad de: 1) sustituir el concepto de superficie equivalente de daño por el de probabilidad de daño como parámetro característico de la susceptibilidad a magulladura en las variedades de hueso, y 2) establecer un sistema más complejo de representación de la susceptibilidad a daños capaz de integrar varios aspectos distintos relativos a la respuesta de los frutos a cargas quai-estáticas. En este sentido se llevaron a cabo las siguientes etapas:

Partición de la población de datos en varias categorías de deformación máxima (mm) alcanzada durante la compresión. Se seleccionó un número de categorías de deformación que permitiera obtener un número mínimo de individuos representativo en cada una de ellas (ver Tabla 3). El rango de las clases de deformación se seleccionó de forma independiente para las variedades de melocotón y de albaricoque debido a las elevadas diferencias existentes entre ambas en el rango de deformaciones máximas

Segmentación por niveles de carga (CFM, N) aplicados dentro las categorías de deformación máxima previamente definidas (ver Tabla 3)

Cálculo del valor medio de relación fuerza-deformación (CFD, N/mm) obtenido para cada combinación de nivel de carga aplicado (CFM, N) y de deformación máxima alcanzada (CDM, mm)

Cálculo del porcentaje de frutos magullados obtenido para cada combinación de nivel de carga aplicado (CFM, N) y de deformación máxima alcanzada (CDM, mm). Este parámetro se empleará como estimador de la probabilidad de magullarse un fruto.

Los resultados obtenidos con el procedimiento descrito aparecen reflejados en la Figura 2 para las variedades de melocotón Caterina. Esta nueva forma de representación (nivel de carga CFM, N, en abscisas; relación fuerza-deformación CFD, N/mm, en ordenadas; deformación del fruto CDM, mm, como curvas de nivel; y probabilidad de magullarse un fruto, %, sobrescrita sobre el plano para cada par ordenado) clarifica el efecto de los distintos

parámetros relativos a la respuesta mecánica de los frutos sobre la susceptibilidad a magulladura. Así, la deformación máxima (representada en las curvas de iso-deformación) es como se esperaba la variable que más contribuye a la aparición de daños visualmente observables. En el caso de los melocotones Sudanell así como en ambas variedades de albaricoque se observa un descenso en el porcentaje de frutos magullados (estimador de la probabilidad de magullarse) para valores crecientes de nivel de carga dentro de cada curva de iso-deformación. Es decir, se observa menor probabilidad de magullarse un fruto cuando es necesario aplicar más carga para alcanzar un mismo nivel de deformación, lo que implica un efecto combinado deformación-carga en la susceptibilidad a magulladura de estas variedades. La fiabilidad de los valores de los porcentajes de frutos magullados, probabilidad de magullarse, puede deducirse a partir del número total de individuos al que refiere el valor porcentual (ver Tabla 3); sólo se han representado en la Figura 2 las probabilidades de magulladura con mayor fiabilidad.

La Figura 2, por tanto, permite cuantificar la susceptibilidad a daños en términos de probabilidad de aparición de magulladura conociendo el nivel de carga aplicado (CFM, N) y la relación fuerza-deformación del fruto (CFD, N/mm). Los valores en esta relación fuerza-deformación (CFD, ordenada) para valores de carga (CFM, abscisa) dentro del límite elástico del material se corresponden con la definición (dureza al tacto) aportada por Mohsenin en 1970. Se plantea por tanto la posibilidad de representar de forma continua el comportamiento de los frutos en el plano de susceptibilidad definido en la Figura 2 durante una carga quasi-estática. Esto es posible ya que se dispone de todas las curvas fuerza-deformación registradas por la máquina universal de ensayos durante las compresiones. La Figura 3 refleja distintos comportamientos reológicos de frutos obtenidos para la variedad de melocotón Caterina en las campañas 95 y 96. Las grandes diferencias obtenidas para los distintos frutos establecen la necesidad de clasificar los tipos de comportamientos reológicos. Se definieron cinco comportamientos reológicos-tipo en los frutos: Tipologías I, II, III, IV y V. En la Figura 3 se observa que los distintos comportamientos reológicos posibles parecen dependientes de la dureza al tacto. Este hecho queda corroborado cuando se identifica el porcentaje de frutos en relación con los distintos tipos de comportamiento reológicos (ver Tablas 4 para la variedad de melocotón Caterina). Estos porcentajes se emplearán para caracterizar la probabilidad de que un fruto exhiba un determinado comportamiento reológico (I, II, III, IV ó V) en función de su dureza al tacto ("hand held firmness", N/mm).

De todo lo anteriormente descrito se deduce que el procedimiento para la asignación de la susceptibilidad/probabilidad de que un fruto se magulle consiste en: 1) establecer la dureza al tacto de un fruto, 2) establecer el nivel de carga para el que se desea conocer la susceptibilidad, 3) asignar la probabilidad de los distintos niveles de dureza al tacto y de tipologías de comportamiento reológico según Tablas, 4) establecer el punto en el plano de la Figura 2, y 5) lectura del tanto por ciento de probabilidad de daño (magulladura) en dicho punto. Este procedimiento puede efectuarse por medio de programas informáticos, y esto es lo que se está haciendo en el desarrollo del simulador anteriormente mencionado.

5. Conclusiones

La probabilidad de daño (magulladura) es más adecuada para la caracterización de la susceptibilidad a magulladura en frutos de hueso que la superficie equivalente de daño. La agrupación de observaciones correspondientes a una deformación (mm) del fruto y a un nivel de carga (Fuerza, N) similares permite estimar con fiabilidad la probabilidad de que un

fruto se dañe

La deformación que muestra un fruto para un nivel de carga (fuerza) aplicado puede estimarse en función de la dureza al tacto del fruto (resistencia a la deformación dentro del límite elástico) y del tipo de comportamiento reológico

6. Agradecimientos

A la UPM por su financiación del Proyecto Multidisciplinar: Desarrollo de un simulador de daños en líneas de clasificación en frutas REF 8.109

Bibliografía

- Barreiro P. 1995. Modelos para la simulación de daños mecánicos; y desarrollo de un algoritmo de evaluación de maquinaria para los principales cultivares de albaricoque, manzana, melocotón y pera. Tesis Docotral UPM. Madrid
- Brown G.K.; Schulte-Pason N.L.; Timm E.J. 1990. Impact classification using the instrumented sphere. ASAE PAPER N° 90-6001
- CEMAGREF. 1981. La qualité gustative des fruits. méthodes pratiques d'analyse. Ministère de l'Agriculture. Mission Qualite Alimentaire DGAL.
- Chen P., M. Ruiz, F. Lu y A.A. Kader. 1987. Study of impact and compression damage in Asian pears. TRANSACTIONS OF THE ASAE 30(4):1193-1197.
- García C., M. Ruiz y P. Chen. 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruits. ASAE Paper n° 88-6027.
- García, F., F. Riquelme, M. Ruiz-Altisent, P. Barreiro. 1996. Study of packing lines for stone fruits and citrus using two instrumented spheres in some cooperatives in the region of Murcia. Paper n° 96-F-038. AgEng '96 Conference on Agricultural Engineering. Madrid, 23-26 Sept. 1996
- Jarén C., G. Anderson, M. Ruiz Altisent y A. Muir. 1992. Detección de impactos con frutos electrónicos. HF (HORTO-FRUTICULTURA) n° 7/8 (Julio/Agosto):59-61.
- Mohsenin N.N.; 1970. Physical Properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Publishers.
- Ruiz Altisent M.1991. Damage Mechanisms in the handling of fruits. Capítulo del Libro "Progress in Agricultural Physics and Engineering".pp 231-257 Ed.J.Matthews.CAB International,1991.
- Schulte N.L; Timm E.J.; Brown G. 1993. 'Red haven' peach impact damage thresholds. ASAE.PAPER N° 93-513

Tabla 1. Caracterización del material empleado en firmeza y sólidos solubles. Cuartiles Inferior y Superior (contiene el 50% del total de individuos, n)

	Melocotón		Albarcoque	
	<i>Caterina</i>	<i>Sudanell</i>	<i>Búlida</i>	<i>Pepito</i>
Firmeza Magness-Taylor (N)	6.9 - 11.2	5.9 - 16.4	4.6 - 17.9	5.9 - 14.7
Sólidos Solubles (°BRIX)	12.9 - 14.4	13.3 - 15.2	13.4 - 13.9	16.6 - 17.6
n	720	720	360	360

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre las magnitudes determinadas en compresión (CFM, CDM, CF/D, CRT) y la superficie de daño equivalente (SUP) observada posteriormente.

	Melocotón <i>Caterina</i>				
	CFM (N)	CDM (mm)	CF/D (N/mm)	CRT (%)	SUP (mm ²)
CFM	1				
CDM	0.45	1			
CF/D	-0.14	-0.55	1		
CRT	-0.36	-0.16	0.43	1	
SUP	0.39	0.81	-0.48	-0.20	1

n total = 720; n con daños = 319

Figura 1. Deformación máxima de los frutos (CDM) en relación con la superficie de magulladura (SUP).

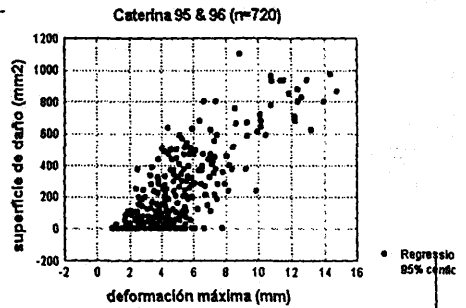


Tabla 3. Agrupación de datos según intervalos de deformación máxima de los frutos (CDM, mm) y de nivel de carga máximo (CFM, N) registrados en compresión quasi-estática.

Número observaciones	Melocotón <i>Caterina</i> (n=720)				
	Intervalo Deformación (mm, mm)				
	[0,2]	(2,3]	(3,4]	(4,5]	(5,∞]
Σ n	159	189	148	85	135
por niveles de carga					
15 N	66	35	13	2	0
25 N	93	137	73	24	33
50 N	0	17	62	59	102

Figura 2. Plano de susceptibilidad a magulladura. Los porcentajes indican la probabilidad de daño.

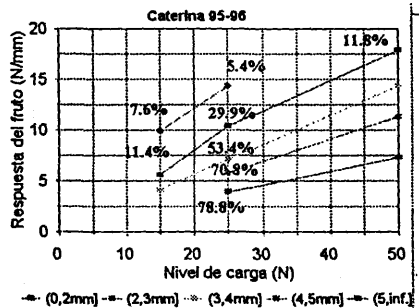


Figura 3. Comportamientos reológicos (Tipos I-V) observados en melocotón Caterina en relación a las curvas de iso-deformación

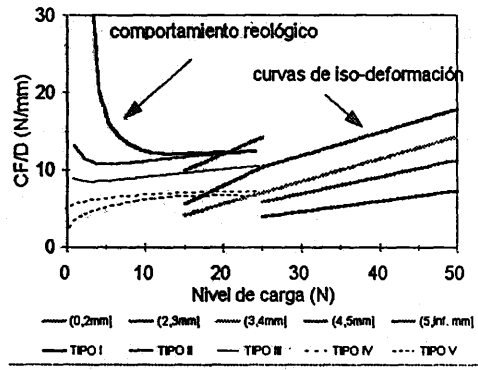


Tabla 4. Probabilidad de comportamiento reológico (Tipos I, II, III, IV & V) para distintos niveles de dureza al tacto observados en melocotón Caterina.

Probabilidad de Comportamiento Reológico					
dureza al tacto	I	II	III	IV	V
(N/mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0-5	0	3.1	4.1	66.3	26.5
5-10	0.8	22.5	24.2	43.3	9.2
10-15	9.7	59.1	19.4	11.8	0
15-20	38.9	36.1	13.9	11.1	0
>20	66.7	33.3	0	0	0
Total	7.4	28.3	16.0	37.7	10.6