

ASOCIACION NACIONAL DE INGENIEROS AGRONOMOS
24. CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGRARIA
26. FERIA INTERNACIONAL DE LA MAQUINARIA AGRICOLA DE ZARAGOZA (ESPAÑA)

II. MAQUINARIA DE CULTIVO,
RECOLECCION Y POST-RECOLECCION

COMUNICACION

CLASIFICACION DE LOS FRUTOS POR MADUREZ
MEDIANTE IMPACTOS NO DESTRUCTIVOS

C. JAREN CEBALLOS
M. RUIZ ALTISENT

CLASIFICACION DE LOS FRUTOS POR MADUREZ MEDIANTE IMPACTOS NO-DESTRUCTIVOS.

* C. Jarén Ceballos. Ing. Agrónomo.
* M. Ruiz Altisent. Prof. Titular.
Dpto de Ingeniería Rural. E.T.S. Ingenieros Agrónomos.
Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

Algunos factores de calidad, tales como el tamaño, la forma, el color, el sabor la firmeza y el aroma están muy relacionados con el estado de madurez de los frutos. Se han estudiado diversos parámetros físicos para determinar su relación con la madurez de los frutos por ensayos no-destructivos. Estudio anteriores indican que un grupo de parámetros de impacto pueden ser utilizados para predecirla. Este trabajo se ha llevado a cabo con dos variedades de pera ("Blanquilla" y "Decana de Comice") y con dos de manzana ("Golden Delicious" y "Starking"). Durante varias semanas (campaña 1990, 1991) se ensayaron muestras de frutos de distinta madurez. Los ensayos de impacto se han completado con una serie de ensayos paralelos destructivos para realizar un seguimiento de la madurez hasta senescencia. Con los datos de 11 parámetros de impacto relacionados con la madurez, se ha realizado un análisis discriminante paso a paso. Así, hemos podido conocer las variables que más discriminan, en cuanto a madurez, a lo largo del tiempo. Con estas variables y los datos obtenidos en los ensayos, se ha creado un procedimiento informatizado y una base de datos, los cuales permiten la clasificación automática de frutos por medio de impactos mecánicos no destructivos. El correspondiente dispositivo se encuentra en fase avanzada de diseño y pendiente de patente.

ABSTRACT

Many quality factors such as size, shape, colour, flavour, firmness, and taste are related to maturity. Some impact parameters are closely related to ripeness. Two varieties of both pears ("Blanquilla" y "Decana de Comice") and apples ("Golden Delicious" and "Starking") were tested by non-destructive impact. Samples of fruits of increasing maturity were tested during several weeks. Other destructive and non-destructive measurements of post-harvesting ripening were applied. Impact parameters data were analysed using a stepwise discriminant analysis. The analysis was performed taking the succession of days as different stages in the ripening process. A new software was created to control the impact test, calculate the parameters, and sort the fruit. This software needs a data base and may create new ones. The implementation of an on-line impact device for automatic detection of texture is being designed (patent pending).

INTRODUCCION

En los últimos años, especialmente tras la entrada de España en la CE, se ha hecho necesario ofrecer productos agrícolas de calidad, seleccionados y clasificados para ser presentados y comercializados en condiciones homogéneas. La

disminución de la calidad organoléptica de las frutas, en competencia con los productos lácteos, que poseen una calidad para el consumidor que no cambia con el tiempo, ha hecho que, a pesar del incremento en la producción de

frutas, se observe una disminución en su consumo dentro de la CE (Alavoine et al., 1988). Por ello, son necesarias técnicas para evaluar la calidad de los frutos.

Dentro de la calidad organoléptica de los frutos juega un papel muy importante el estado de madurez en que se encuentre la fruta. Uno de los índices de madurez más utilizados es la textura de la pulpa. La textura es una combinación de propiedades que confieren al fruto resistencia o firmeza. La firmeza depende fundamentalmente de la resistencia a la deformación y al esfuerzo cortante. Actualmente, esta "calidad mecánica" se determina con un penetrómetro en ensayos destructivos. Al fruto, normalmente sin piel, se le introduce un vástago cilíndrico unido a un dinamómetro que mide la fuerza necesaria para la penetración.

Este ensayo destructivo no nos permite conocer y clasificar directamente los frutos por su estado de madurez. Hay que recurrir a la inferencia estadística y, a partir de una muestra de la población, asignarle a esta última las características encontradas en la muestra.

Por ello, se trata de encontrar una técnica no destructiva para determinar la madurez. Dicha técnica tiene que ser susceptible de automatizarse para que pueda ser empleada en una línea de manipulación y clasificación de frutos por su textura. Como ya hemos dicho, la textura es un buen índice de madurez y, por lo tanto, de calidad gustativa.

De los numerosos ensayos para determinar la textura, el impacto mecánico proporciona una serie de parámetros que parecen estar muy relacionados con la madurez. Estos impactos, si se realizan con una masa adecuada y a poca altura, pueden no causar daño al fruto. En los últimos años, se han realizado ensayos con frutos de diferente grado de madurez (García, 1988) en los que aparece una evidente influencia del estado de madurez en la respuesta al impacto mecánico. Del estudio de 15 parámetros del impacto se hizo una primera selección de las variables, eligiéndose la fuerza máxima, la deformación máxima, la pendiente fuerza/tiempo, la pendiente fuerza/deformación, la fuerza máxima multiplicada por la pendiente fuerza/tiempo, el tiempo total, el tiempo final, la diferencia entre

ambos tiempos, el tiempo necesario para alcanzar la fuerza máxima, el módulo de elasticidad dinámico y el esfuerzo cortante máximo. A partir de alguno o algunos de estos parámetros se espera poder clasificar los frutos por su estado de madurez de manera no destructiva.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

1.-Seleccionar los parámetros del ensayo de impacto que más estrechamente están relacionados con la madurez.

2.-Crear el soporte de "software" necesario para captar y analizar los datos de impactos y determinar el estado de madurez del fruto.

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal

Las especies elegidas para la realización de este trabajo fueron pera (Pyrus comunis L.) y manzana (Pyrus malus L.). Se eligieron dos variedades de cada una de estas especies, de las que ya existían estudios previos. Las de pera fueron "Blanquilla" y "Decana de Comice" y las de manzana, "Golden Delicious" y "Starking".

La parte experimental se llevó a cabo durante los años 1990 y 1991 con frutos de las variedades elegidas procedentes de Lérida. El primer lote, ensayado a finales de 1990, fue enviado directamente desde la central hortofrutícola en camión refrigerado. El segundo lote, de características idénticas al primero, se conservó en cámaras frigoríficas de la central hortofrutícola hasta el comienzo de 1991, en que fue enviado a Madrid en camión refrigerado para ser ensayado. La conservación se realizó en atmósfera controlada, a una temperatura de 0-2°C, en las mismas condiciones en que se conservan cada una de las variedades cuando van destinadas al mercado.

Durante el período de ensayo, la fruta se conservó en una temperatura ambiente de 20±2°C para que evolucionara en madurez hasta la senescencia.

Lotes de peso homogéneo de cada variedad fueron seleccionados del conjunto total suministrado. Se rechazaron los frutos con defectos.

El peso de cada una de las variedades (con una variación de $\pm 10\%$) aparece en la siguiente tabla.

VARIEDAD	PESO (g)
Blanquilla	110 $\pm 10\%$
Decana de Comice	270 $\pm 10\%$
Golden Delicious	165 $\pm 10\%$
Starking	170 $\pm 10\%$

De cada una de las variedades de fruta se seleccionaron el primer día 10 ó 12 frutos. Estos frutos sólo se ensayaron de forma no destructiva, de tal modo que se pudieron ensayar reiterativamente hasta la senescencia. Cada día de ensayo, se escogía otro lote de 10 frutos, mantenidos en las mismas condiciones que los anteriores, pero que se ensayaron tanto de forma no destructiva como destructiva.

Ensayos no destructivos

Las medidas realizadas de forma no destructiva fueron: peso, perímetro, radio de curvatura y diversos parámetros de impacto.

El dispositivo general de ensayo de impactos mecánicos utilizado fue diseñado por el Departamento de "Agricultural Engineering" de la Universidad de California, Davis (EE.UU.), en colaboración con el Equipo del Laboratorio de Propiedades Físicas de frutas y hortalizas del Departamento de Ingeniería Rural de la E.T.S.I. Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (Chen et al., 1987 y Ruiz et al., 1986, 1987).

A todos los frutos ensayados cada día se le aplicaron dos impactos a 4 cm en el caso de las peras y a 3 cm en el de las manzanas con un indentador de superficie esférica de 49,29 gr. Antes de cada impacto, el indentador se impregnaba de tinta para conocer el punto de contacto entre éste y el fruto. Los impactos se aplicaron en la zona ecuatorial del fruto.

Ensayos destructivos

-Evaluación de las magulladuras. El tamaño de las magulladuras se determina a partir de la anchura y la profundidad máxima. Para conocer estos parámetros se efectuó un corte perpendicular al plano tangente en

el centro de la marca de tinta del impactador y en la dirección al máximo semieje de la superficies.

Al cabo de dos horas de haberse efectuado el impacto, se consideraba que había transcurrido el tiempo suficiente para el desarrollo de la magulladura (Ingle et al., 1968).

La sección de fruto se colocaba en un portaobjeto y se le añadía una gota de catecol al 10%. Al cabo de unos minutos, se observó con una lupa binocular Nikon modelo SMZ-2T con escalímetro incorporado y posibilidades de aumento desde 1 a 6,3 con ocular de 10 x.

-Penetración. Este ensayo se llevó a cabo con una Máquina universal Instron modelo 1122 con un vástago incorporado de 7,9 mm de diámetro y base esférica (Magness-Taylor). Se realizaron dos penetraciones por fruto en su zona ecuatorial desprovista de la piel. La velocidad de avance fue de 10 mm/min y hasta una profundidad de 6 mm, registrándose la fuerza máxima hasta la rotura de la pulpa expresada en Newtons (N).

-Corte de probetas. Este ensayo nos permite conocer el esfuerzo cortante máximo de la pulpa del fruto. Para ello se utilizó la misma máquina que en el ensayo anterior, pero con un pistón incorporado para ejercer la fuerza sobre un dispositivo especialmente diseñado para contener en su interior un cilindro de fruta y aplicarle una fuerza perpendicular variable hasta su rotura (Ruiz Altisent et al. 1989).

El cilindro de fruta se obtuvo con la ayuda de un sacabocados de 6 mm de diámetro interno. Sobre él se aplicaban dos fuerzas tangenciales constantes. La velocidad de trabajo fue de 20 mm/min registrándose la fuerza máxima aplicada, en N.

La resistencia al esfuerzo cortante es la relación entre la fuerza máxima de rotura y la superficie total de rotura, de valor constante en todos los ensayos.

Este test se realizó una vez para cada uno de los frutos que se sometieron a ensayos destructivos.

-Extracción del jugo. Para obtener el jugo de las muestras ensayadas cada día se tomaron dos secciones longitudinales y opuestas tomando la zona más coloreada y la menos coloreada de cada fruto. De estos dos fragmentos de todos los frutos de cada lote se extrajo su jugo en

Los datos de los frutos que se escogían cada día no mostraron diferencias, salvo algunas excepciones, con los datos obtenidos ese mismo día a partir de los frutos no destruidos.

Una vez realizados los primeros análisis discriminantes, las variables 10 y 11 fueron eliminadas por ser éstas la variables que menos discriminaban, en conjunto, y por su difícil cálculo. Al volver a realizar el análisis sin estas variables perdíamos efectividad por lo que se decidió introducir unas nuevas variables en sustitución de las anteriores que, relacionadas con ellas, fueran más fáciles de calcular. Estas nuevas variables, basadas en las relaciones del modelo de contacto elástico, fueron la deformación elevada a 3/2 y la fuerza dividida por la nueva variable 10. Con este cambio, recuperábamos e incluso se superaba en algunas ocasiones el porcentaje de frutos bien clasificados "a priori".

El porcentaje de frutos bien clasificados en la primera repetición (1990) fue:

Variedad	%
Blanquilla	76
Decana de Comice	60
Golden Delicious	59
Starking	54

El porcentaje de frutos bien clasificados en la segunda repetición (1991), tras permanecer los frutos varios meses conservados en cámaras frigoríficas, fue:

Variedad	%
Blanquilla	31
Decana de Comice	49
Golden Delicious	40
Starking	46

En estos resultados se observa como disminuye el porcentaje de bien clasificados al disminuir los días de separación entre ensayos consecutivos. Los frutos, al mediar menos días, evolucionaban menos y no muestran tantas diferencias entre los grupos como en el primer caso.

Por otra parte, el primer día de ensayo los frutos estaban en un estado de madurez más avanzado en la repetición. Esta situación también ha contribuido a disminuir la diferencia entre grupos.

Dada la poca diferencia detectada al utilizar todos los grupos, se recurrió a eliminar días intermedios de ensayo aumentando de esta manera las diferencias de madurez entre los grupos no excluidos. En el caso de las manzanas se detectó una gran diversificación de los datos los dos últimos días de ensayo. Este hecho podría estar relacionado con la entrada en senescencia del fruto. Por ello, los dos últimos días de ensayos en manzana fueron eliminados. Se dejaron tan sólo tres grupos por variedad, el primer día, el último y uno intermedio.

Los resultados obtenidos en la reclasificación de los frutos en el primer ensayo fueron:

Variedad	%
Blanquilla	97
Decana de Comice	97
Golden Delicious	97
Starking	100

El porcentaje de frutos bien clasificados en la segunda repetición (1991) fue:

Variedad	%
Blanquilla	78
Decana de Comice	92
Golden Delicious	86
Starking	92

En cada caso, las variables que más discriminaban y el número de pasos fueron distintos:

Blanquilla (90): 9
 Blanquilla (91): 8-10-5-11-1
 Decana (90): 7-4-2-9
 Decana (91): 2-11-6-3-8
 Golden D. (90): 11-7-4
 Golden D. (91): 4-11-5-7-1
 Starking (90): 7-6-8-2
 Starking (91): 6-4-10-3-1

Como podemos ver, todas las variables han sido utilizadas al menos en dos ocasiones. Las más

utilizadas han sido la 4 (diferencia entre el tiempo total y el final), la 7 (fuerza máxima en el impacto) y la 11 (fuerza/deformación $\sqrt{3/2}$).

Por su importancia en la clasificación, dando a cada variable un valor de 11 a 1 en función de su utilización en el análisis discriminante, podemos ordenar las variables de mayor a menor importancia de la siguiente manera: 7 y 4, 11, 6, 8, 1, 9 y 10, 5, 2, 3.

También podemos observar que para alcanzar el máximo porcentaje de frutos bien clasificados se han necesitado entre 1 y 5 pasos.

La evaluación del daño ocasionado por los impactos mostraron que los primeros días de ensayos, estos o no causaban ningún daño apreciable o éste era mínimo. A medida que los frutos evolucionaban, el daño causado fue siendo mayor si bien los últimos días de ensayo se produjo una disminución del tamaño de las magulladuras probablemente por la entrada en senescencia del fruto. El tejido senescente es más plástico y por lo tanto se daña menos. En la Tabla nº1 podemos ver las medias de las profundidades, en mm, y de las anchuras, en mm, de cada día de ensayo y para cada una de las variedades estudiadas.

CONCLUSIONES

A partir de los datos de evaluación de los daños causados por los impactos podemos decir que este tipo de ensayos no es destructivo si se realiza con el fruto no excesivamente maduro (cuando interesa su comercialización realmente)

El dispositivo de impactos nos proporciona los parámetros adecuados para clasificar a los frutos por su estado de madurez.

El análisis discriminante nos aporta un buen criterio de clasificación utilizando los 11 parámetros seleccionados. No es necesario escoger uno o varios de estos parámetros ya que el programa puede escoger en cada situación los más adecuados.

A partir de los datos obtenidos en este trabajo, se ha creado una base de datos eliminando aquellos que resultaron mal clasificados. El mayor interés de los resultados se encuentra en que esta base de datos, junto con el programa de análisis discriminante incorporado a un nuevo

programa de control del ensayo de impactos y cálculo de los parámetros puede clasificar frutos según su madurez en apenas unos segundos (Bravo Moreno, 1992). El programa también permite generar nuevas bases de datos para clasificar otras especies y variedades de frutos o estas mismas con otros criterios de madurez.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CICYT la financiación del proyecto de investigación ALI 89-132, a Merco-Fraga y Merco Bell-Lloch que nos han permitido la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Alavoine, F., M. Crochon, C. Fady, J. Fallot, P. Moras y J.C. Pech (1988). La qualité gustative des fruits. Methodes pratiques d'analysis. CEMAGREF
- Chen, P., M. Ruiz-Altisent, F. Lu y A.A. Kader (1987). Study of Impact and Compression Damage on Asian Pears. Trans ASAE 30 (4): 1193-1197.
- Bravo Moreno, C. (1992). Programa Paso (pendiente de publicar).
- García Alonso, C.R., M. Ruiz Altisent, y P. Chen (1988). Impact Parameters Related to Bruising in Select Fruits. ASAE paper 88-6027.
- Ingle, M., J.F. Hyde (1968). The Effect of Bruising on Dicoloration and Concentration of Phenolic Compounds in Apple Tissue. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93: 738.
- Judez Asensio, L. (1989). Técnicas de análisis de datos multidimensionales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica, Madrid. 361 pag.
- Piggott, J.R. (1988). Sensory Analysis of Foods. 2ª Ed. Elsevier Applied Science, Londres. 426 pag.
- Ruiz Altisent, M., J. Gil Sierra, C.R. García Alonso y L. Rodríguez Sinobas (1986). Daños por impactos en frutos: parámetros y métodos experimentales. Actas al II Congreso de la S.E.C.H. Córdoba.

Ruiz Altisent, M., J. Gil Sierra, P. Chen y F.M. Lu (1987). Methods for Studying Resistance to Impact and Compresion in fruits: Application to Four Varieties of Asian Pears. II World Congress of Food Technology. Barcelona.

Ruiz Altisent M., C. García Alonso y R. Ibañez Martínez (1989). Control de la madurez en frutos por medio de ensayos de impacto. Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza.

Nº	BLANQUILLA		DECANA DE C		GOLDEN D.		STARKING	
	A(mm)	P(mm)	A(mm)	P(mm)	A(mm)	P(mm)	A(mm)	P(mm)
1	0.4	0.2	0.3	0.2	5.8	1.6	5.9	1.4
2	4	1.5	2.6	1.2	4.8	1.6	4.9	1.4
3	4	1.7	0.6	0.3	5.3	1.6	5.1	1.3
4	6	2.5	2.0	1.0	5.5	1.6	4.9	1.5
5	2	1.1	2.0	1.1	5.6	1.5	5.4	1.4
6			2.7	1.3	5.2	1.7	5.2	1.7
7			6.6	3.1	5.4	1.7	4.3	1.4
8			6.3	2.5	5.8	1.6	5.8	1.6
9					5.1	1.8	5.2	1.7
10					5.3	1.9	5.7	1.9

Tabla 1.- Valores medios de la anchura (A) y la profundidad (P) de las magulladuras producidas por los impactos mecánicos en la primera repetición.