

ASOCIACION NACIONAL DE INGENIEROS AGRONOMOS  
21. CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGRARIA  
23. FERIA TECNICA INTERNACIONAL DE LA MAQUINARIA AGRICOLA DE ZARAGOZA (ESPAÑA)

MESA II  
MAQUINARIA DE CULTIVO, RECOLECCION Y POST-RECOLECCION

CONTROL DE LA MADUREZ  
EN FRUTOS POR MEDIO DE ENSAYOS DE IMPACTO

M. RUIZ ALTISENT  
C. GARCIA ALONSO  
R. IBAÑEZ MARTINEZ

## CONTROL DE LA MADUREZ EN FRUTOS POR MEDIO DE ENSAYOS DE IMPACTO.

Margarita Ruiz Altisent, Profesor Titular  
Carlos García Alonso, Dr. Ing. Agrónomo  
Ricardo Ibáñez Martínez, Ing. Agrónomo  
Depto. de Ingeniería Rural, E.T.S.I.A.  
Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen. En anteriores trabajos se ha observado que la respuesta de los frutos a un impacto mecánico está muy influida por su estado de madurez. Se realizaron ensayos de impacto sobre peras cv. Limonera, a lo largo de 12 semanas de conservación frigorífica y de maduración controlada. El impacto desde 4 cm de altura (equivalente a 0,02 J) resulta no destructivo y puede utilizarse para la determinación del estado de madurez de estos frutos. Por métodos de regresión lineal múltiple sobre los 15 parámetros del impacto más representativos se obtienen buenas predicciones de la madurez, representada por la fuerza de corte de probetas de pulpa, FC (N).

### INTRODUCCION

En los últimos años se viene realizando una extensa investigación dirigida a profundizar en las relaciones existentes entre los parámetros que caracterizan la respuesta de los frutos al impacto mecánico y la aparición y la magnitud de la magulladuras o daños consecuentes (Jarimopas, 1984, Hellebrand 1985, Chen et al. 1986).

Otros autores (Nahir, 1986; Delwiche, 1986) desarrollaron sistemas de clasificación de frutos (tomate, pera y melocotón) por su respuesta al impacto; en ambos casos se utilizó la caída del fruto sobre una superficie dotada de captadores de fuerza; se encontraron problemas relacionados con la masa variable de los frutos y la posición incontrolable de los mismos al contacto con la superficie sensible, todo lo cual repercute en falta de precisión en las determinaciones.

En los últimos trabajos propios ya publicados (García et al. 1988, Rodríguez y Ruiz 1988), realizando ensayos de impacto sobre variedades de pera y de manzana de diferentes grados de madurez, aparece una evidente influencia del estado de madurez en la respuesta al impacto mecánico. Esta observación ha llevado a los autores a estudiar las posibilidades de este método para detectar el estado de madurez de estos frutos.

Dicho procedimiento será válido solamente si utiliza impactos de pequeña energía que resulten no-destructivos, es decir, que no produzcan daño alguno. De los resultados de los trabajos mencionados se desprende que impactos

de solamente 4 cm de altura con el impactador de aprox. 50 gramos producen únicamente un inapreciable punto a 1 mm de profundidad en los frutos de pera Limonera (García 1988). Por otro lado, el sistema de impactos utilizado en el laboratorio, y cuyo software ha sido ampliamente desarrollado por los mencionados autores, resulta un medio muy adecuado para desarrollar criterios de calidad que puedan ser directamente utilizables por eventuales dispositivos automáticos de control.

Los anteriores estudios incluyeron varias decenas de parámetros del impacto y de parámetros de ensayos convencionales estáticos, los cuales se introdujeron en un análisis estadístico factorial de correspondencias y ello para un total de seis variedades de peras y manzanas. Dado que la variedad que mostró una mayor variación en su estado textural, para el periodo de ensayos controlados de 12 semanas, fue la pera Limonera, ésta fue la elegida para estudiar diferentes criterios de predicción de su estado de madurez.

Primeramente hubo de analizarse, sin embargo, cuál de los criterios objetivos, distintos del impacto, era el más adecuado para definir el estado del fruto: fecha, ensayo de penetración (firmeza Magness-Taylor) o ensayo de corte.

El objetivo del trabajo aquí presentado es pues establecer un criterio que defina el estado de madurez de frutos de pera cv. Limonera, en función de

parámetros de respuesta a un impacto no-destructivo aplicado a cada uno de los frutos a determinar.

#### MATERIALES Y METODOS

El dispositivo de ensayo de impactos, así como la obtención de los parámetros representativos, han sido descritos en publicaciones anteriores (Chen et al. 1985 y 1986; Ruiz et al. 1987; García 1988). El sistema consiste básicamente en un impactador de acero de 50,6 gramos de masa, con una punta esférica de 19 mm de diámetro, el cual puede dejarse caer sobre el material a ensayar desde alturas variables; todo el dispositivo se controla y se analizan sus resultados por ordenador personal.

Para los ensayos aquí analizados se utilizó la variedad de pera Limonera, recogida directamente del campo de cultivo en la zona de Lérida. Se realizó una tría sobre 300 kg de frutos, y se introdujeron en cámara frigorífica a 1-2,5°C y 85% de humedad relativa. Durante las doce semanas que duraron los ensayos, en periodos de ensayo de quince días, se extraían de la cámara 30 frutos, de los cuales 10 se sometían a ensayo al cabo de unas dos horas, una vez alcanzada la temperatura ambiente; el resto de frutos se mantenían en cámara de maduración a 18-20°C y h.r. a saturación, procediéndose a su ensayo al cabo de dos y de cuatro días respectivamente.

Los ensayos realizados incluyeron: 1) impacto desde 4 cm de altura de caída del impactador; 2) ensayo de firmeza (penetración Magness-Taylor): indentedor de 10 mm de diámetro y velocidad de carga de 10 mm/min, en máquina universal de ensayos Instron; 3) ensayo de corte de probetas cilíndricas de pulpa en dispositivo diseñado a tal fin (Fig. 1) acoplable a la máquina

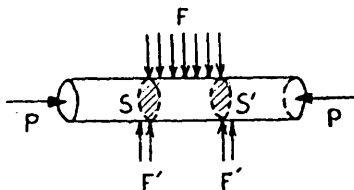


Fig. 1 Ensayo de corte tangencial de probeta.

Instron y a la misma velocidad de carga; 4) observación de la zona impactada, en corte transversal de la misma, por medio de microscopio estereoscópico (Nikon, modelo SMZ 2T, 10-63 X). Otras determinaciones complementarias incluyeron impactos a mayores alturas, grados Brix y densidad de la pulpa por inmersión.

El análisis estadístico se realizó en

dos fases: primeramente un análisis factorial de correspondencias (v. García, 1988) aplicado a la totalidad de los parámetros obtenidos y calculados, tanto del impacto como el resto; en una segunda fase se utilizó el paquete de programas estadísticos MSTAT.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

De los resultados del (primer) análisis de la totalidad de los datos fue posible seleccionar aquellos parámetros del impacto que presentan, en mayor o menor grado, una variación paralela a la de los criterios indicadores del grado de madurez (Tabla 1). Estos son: fecha de ensayo (FE), fuerza máxima de corte tangencial de probeta (FC). De entre aquellos parámetros unos se correlacionan más estrechamente que otros con estos últimos.

A su vez, estudiada por diversos métodos la correlación y la separación de medias, se constata que los valores de FC son los que mejor describen el avance de la maduración de la totalidad de los lotes ensayados (v. Figura 5 "valores observados"). Los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la regresión lineal de FC respecto de fecha de ensayo superan el 90%. Se observa la disminución progresiva de resistencia del fruto conservado en cámara frigorífica durante 12 semanas, y la más rápida evolución de los frutos al someterlos a maduración acelerada en cámara a 18-20°C. Es de destacar que cada lote, dependiendo de la procedencia o "historia" anterior, evoluciona a diferente velocidad, como es esperable si se tiene en cuenta la evolución fisiológica de los frutos climatéricos, como es la pera. En ambos casos, la estructura del fruto se desintegra al final de periodo correspondiente. El momento adecuado de consumo de estas peras se encuentra en los valores medios de FC, alrededor de los 50-70N.

Los quince parámetros del impacto seleccionados (v. Tabla 1) se introdujeron a continuación en una serie de análisis de regresión lineal múltiple con el fin de estudiar posibles ecuaciones de predicción de los valores observados de FC. La Tabla 2 muestra un resumen de los resultados más importantes. Los coeficientes de regresión más altos, así como los menores residuos se observan en los ajustes para los (30) datos correspondientes a los días 1°, 3° y 5° de cada uno de los periodos quincenales de ensayo.

La Figura 2 muestra los valores de FC observados y los estimados por regresión sobre las 15 variables para la primera semana o periodo de ensayo, observándose una buena predicción; existen valores que claramente

TABLA 1. PARAMETROS DE MADUREZ Y DEL IMPACTO INCLUIDAS EN LOS ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE.

<u>Variables</u>		
<u>Variables de madurez</u>	<u>Unidades S.I.</u>	<u>Símbolo</u>
Fecha	(numérica)	FE
Fuerza de penetración	N	MT
Fuerza de corte probetas	N	FC
<u>Variables del impacto</u>		
Fuerza máxima	N	FM
Deformación máxima	mm	DM
Deformación permanente	mm	DP
Energía de rebote	J	ER
Velocidad final	m/s	VF
Impulso mecánico	N.s	IM
Pendiente Fuerza/Tiempo	N/s	F/T
Pendiente Fuerza/Deform.	N/mm	F/D
Coef. FM x F/T	N <sup>2</sup> /s	C
Tiempo total	ms	TT
Tiempo final	ms	TF
Tiempo para fuerza máx.	ms	TM
Módulo de elasticidad	N/m <sup>2</sup> .10 <sup>6</sup>	ME
Esf. cortante máx.	N/m <sup>2</sup> .10 <sup>4</sup>	EC
Profundidad calc. del EC	mm	P

TABLA 2. REGRESIONES LINEALES DEL PARAMETRO DE MADUREZ "FUERZA DE CORTE" FC(N) CON LAS VARIABLES DEL IMPACTO.

<u>DATOS DEL ANALISIS</u>	<u>VARIABLES INCLUIDAS</u>	<u>COEFICIENTES DE REGRESION MULTIPLE</u>
1er día de cada periodo	15	0,87
1º, 3º y 5º día, los seis periodos por se parado	15	0,9-0,9-0,8-0,9-0,9-0,8
Conjunto de 180 datos	15	0,8
	5 (FM,DM,IM,F/T,C)	0,78
	3 (FM,F/T,C)	0,77

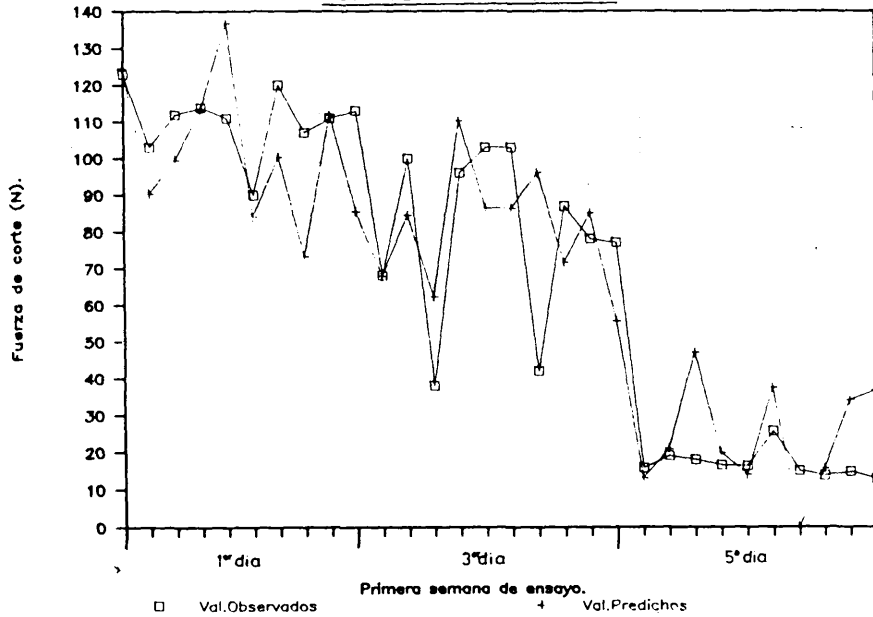
se alejan de la línea de variación general, y más perceptiblemente en los observados, salvo para el final del periodo de maduración, de los frutos senescentes. Esta y otras observaciones de los resultados del altísimo número de impactos que se han aplicado en este y otros experimentos sugieren que la respuesta al impacto puede ser más indicativa del estado de madurez de frutos individuales que ninguna de las pruebas destructivas utilizadas.

Las Figuras 3 y 5 muestran este avance de la maduración, en valores por

fruto y en valores medios por lotes respectivamente. Se desprende de las mismas que estos ensayos pueden utilizarse para el establecimiento del nivel de madurez en lotes de peras, al menos de la variedad Limonera aquí presentada.

Conociendo la precedencia y tratamientos anteriores del lote puede además estimarse la duración comercial prevista de los frutos. Para valores de FC superiores a 70 N podemos estimar una conservación a temperatura ambiente de 48-96 horas; sin embargo, para valores entre 50 y 70 N se reduce a

Fig. 2.  
**REGRESION MULTIPLE CON 15 VARIABLES**  
 CAMARA DE MADURACION. LIMONERA.



48 horas como máximo. A partir de este nivel estimamos que el fruto se encuentra senescente y es inercializable.

La Figura 3 recoge el ajuste de la regresión múltiple sobre las mismas 15 variables para la totalidad de los 180 frutos de Lomonera ensayados. Puede observarse que todos los lotes alcanzan el estado senescente al 5º día y los últimos lo son ya al 3º día o incluso al 1º día, todo lo cual queda --

bien representado por los valores estimados por regresión. Se observa también que los valores estimados por regresión diferencian ligeramente entre los frutos senescentes del primer periodo y los de los últimos, lo cual es más acorde con la observación del estado de los mismos durante los ensayos.

La Figura 4 recoge los valores por fruto para los (60) frutos ensayados el primer día, es decir, representa --

Fig. 3

**REGRESION MULTIPLE CON 15 VARIABLES**  
 CONSERVACION-SOBREMADURACION. LIMONERA.

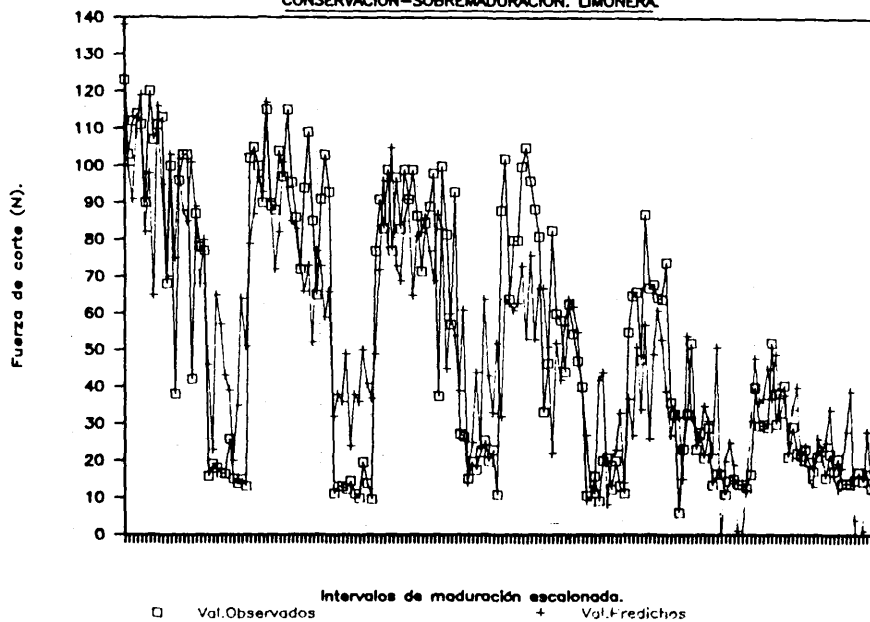
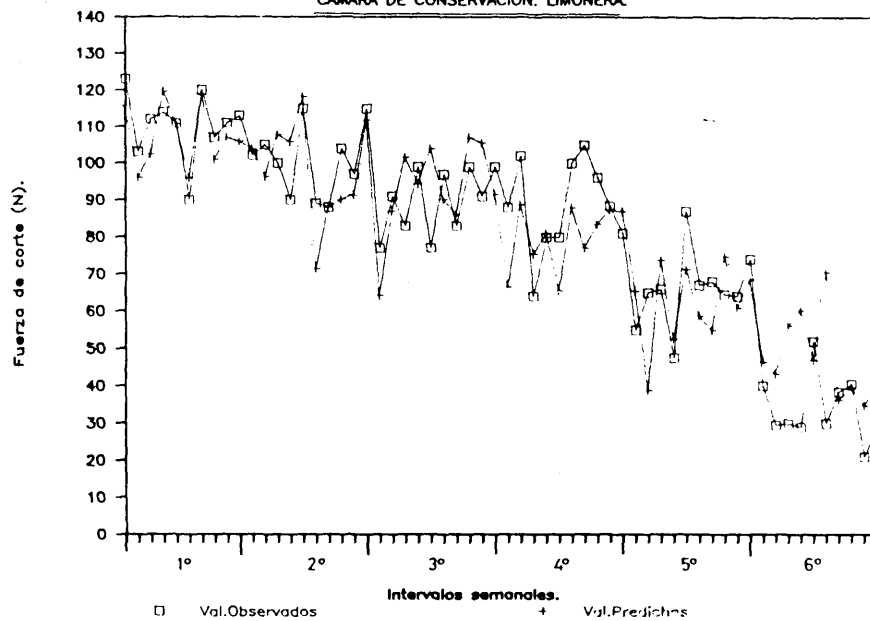


Fig. 4

**REGRESION MULTIPLE CON 15 VARIABLES**

CAMARA DE CONSERVACION. LIMONERA.



la progresión de la maduración de los frutos en cámara, a lo largo de las doce semanas de conservación. La predicción por regresión sobre las 15 variables puede considerarse muy buena. En todos los ensayos realizados, se observan periodos en los cuales la variabilidad entre frutos aumenta significativamente coincidiendo con fases de evolución rápida de los mismos.

Al eliminar progresivamente variables (las que menos aportan a la regresión, en cada paso) (v. Tabla 2) disminuye

ligeramente la bondad del ajuste, -- aumentando los residuos. Se observa que el último paso, regresión múltiple sobre tres variables, presenta un coeficiente de correlación múltiple R de 0,77; se observa aquí que las variables que más aportan a la predicción del estado de madurez de estas peras son FM, F/T y el coeficiente que multiplica ambos, C (v. Tabla 1).

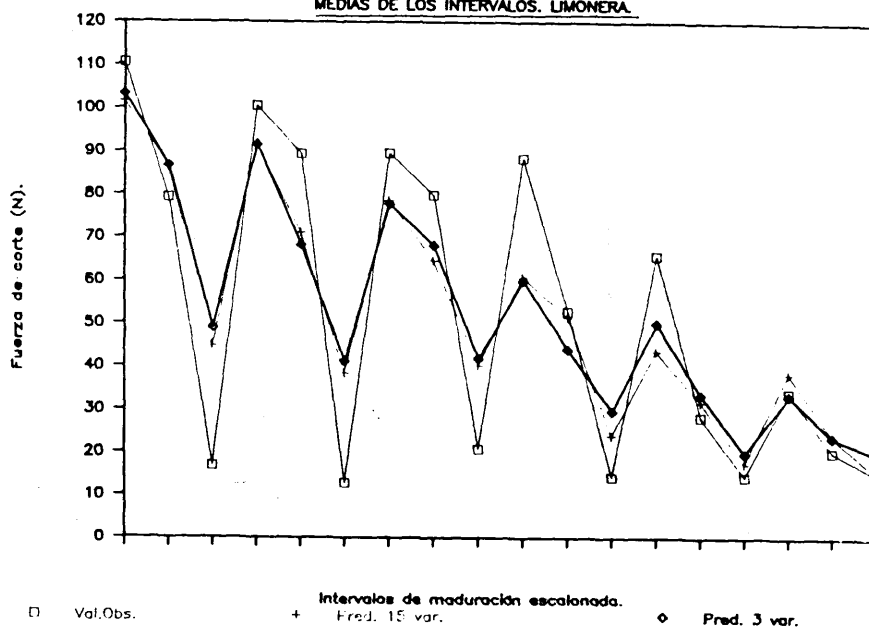
**CONCLUSIONES**

Puede concluirse de este estudio que

Fig. 5

**ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE**

MEDIAS DE LOS INTERVALOS. LIMONERA.



el impacto mecánico es un método utilizable para la determinación y control del estado de madurez en frutos de pera. Se abren pues posibilidades de la aplicación de criterios de calidad basados en la respuesta del fruto a un impacto no-destructivo, quedando pendientes el estudio de otras variedades, tanto de pera como de manzana, y el diseño del dispositivo más adecuado para su posterior construcción. En estos trabajos se encuentra actualmente empeñado el equipo de investigación.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Instituto del Frío del CSIC --- (Madrid); al Comité Conjunto Hispano Norteamericano (Proy. CCA 8411012) y a Frutas Niqui de Alpicat (Lérida).

#### REFERENCIAS

- Chen P., Tang S., Zong S. (1985). Instrument for testing the response of fruits to impact. - ASAE Paper nº. 85-3537.
- Chen P., Ruiz M., Lu F., Kader A. -- (1986). Study of impact and compression damage on Asian pears. Trans. ASAE 30 (4): 1193-1197.
- Delwiche M.J. (1986). Theory of fruit firmness sorting by impact - forces. ASAE Paper no. --- 86-3027.
- García C. (1988). Impacto mecánico en frutos: Técnicas de ensayo y aplicación a variedades de - pera y manzana. Tesis Doctoral. ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid.
- García C., Ruiz M., Chen P. (1988). Impact parameters related to - bruising in selected fruits. ASAE Paper 88-6027.
- Hellebrand P. (1985). Mechanical properties of plant materials - under dynamic loading. Proceedings of the III Physical Properties International Conference. Praga.
- Jarimopas B. (1984). Failure of apples under dynamic loading. Tesis Doctoral. Fac. Agricultural Engineering. Israel Inst. of Technology. Haifa, Israel.
- Nahir D., Schmilovitch Z., Ronen B. - (1986). Tomato grading by impact force response. ASAE - Paper no. 86-3028.
- Rodriguez L. y Ruiz M. (1988). Modelo lineal para la predicción del daño producido por impacto - mecánico en pera cv. Blanquilla. III Congreso de la -- S.E.C.H. (Sociedad Española de las Ciencias Hortícolas). Tenerife, 15-22 Octubre.
- Ruiz M., Chen P., Gil J., Lu F.M. - (1987). Methods for studying resistance to impact and compression in fruits II World Congress of Food Technology. Barcelona.

Abstract. In previous research results it was observed that the response of selected fruits to mechanical impacts was influenced by their ripeness stage. Impact tests were performed on pears cv. Limonera during 12 weeks of cold storage and forced ripening. Impacts from 4 cm height by an instrumented impactor, equivalent to 0,02 J, were non-destructive and could be used to determine ripeness. Using multiple regression analysis on the 15 most correlated impact parameters, good predictions of ripeness stage are obtained; objective measurement of this ripeness was accomplished by a new method consisting of direct shearing of pulp probes, and by Magness-Taylor type penetration.