

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

APLICACION DEL IMPACTO MECANICO NO DESTRUCTIVO PARA LA EVOLUCION DE
LA MADUREZ DE AGUACATE CV. "HASS" DURANTE LA MADURACION A + 20°C Y
DURANTE LA CONSERVACION A + 6°C

P.CESAR CORREA
M.RUIZ ALTISENT
J.L.DE LA PLAZA PEREZ

APLICACION DEL IMPACTO MECANICO NO DESTRUCTIVO PARA LA EVALUACION DE LA MADUREZ DE AGUACATE CV. "HASS" DURANTE LA MADURACION A + 20°C Y DURANTE LA CONSERVACION A + 6°C.

Paulo Cesar Corrêa*, Margarita Ruiz Altisent** y José Luis de la Plaza Pérez*
* Instituto del Frío (CSIC); ** Ingeniería Rural ETSIAgrónomos - UPM

Resumen. Se presenta el estudio de los parámetros mecánicos resultantes de la aplicación del ensayo de impacto controlado por ordenador en la evaluación de la madurez post-recolección de aguacate cv. "Hass", utilizándose un equipo de ensayo de impactos con impactador de 49,29 g y altura de caída de 4 cm. Los datos obtenidos fueron comparados con la firmeza de la pulpa, medida por la penetración, índice tradicional para evaluar la madurez de la mayoría de los frutos climatéricos. Se establecieron dos lotes de frutos, de los que uno fue mantenido a + 20°C para su maduración durante once días y otro mantenido a + 6°C durante sesenta días. Se ha comprobado que el impacto mecánico controlado, bajo las condiciones del trabajo resulta no destructivo y puede ser utilizado para la evaluación del estado de madurez de estos frutos.

Abstract. The application of the response to low energy mechanical impacts is described, for evaluation of post-harvest ripening of avocados of the variety "Hass". An impactor of 49,29 g of weight, falling from a height of 4 cm was used, connected to a personal computer and using a special software for retrieving and analyzing the deceleration data. Impact response parameters were compared to firmness of the pulp, measured by the usual method of double-plate indenter. Two groups of fruits were carefully selected, and stored at 6 °C (60 days) and 20 °C (11 days) respectively, and tested for impact response and for firmness during the whole period of storage. It is shown that in avocados, impact response can be used as a predictor of firmness obtaining the same accuracy as destructive firmness measurements. Mathematical and multiple regression models are calculated which can be used for predicting storage conditions and evolution of ripening of these fruits.

INTRODUCCIÓN:

El aguacate, como fruto climatérico, sigue evolucionando tras la recolección. Los frutos, a medida que van alcanzando su madurez, van ablandando debido a la disolución de la lámina media de las paredes celulares. Este ablandamiento refleja el resultado del complejo conjunto de transformaciones, en general independientes entre sí, que sufren

los frutos con la maduración y que van a determinar su calidad de consumo. Por lo tanto la firmeza o dureza de la pulpa puede utilizarse como índice para clasificar los frutos en diferentes clases según su grado de madurez. La valoración subjetiva de la firmeza de la pulpa puede hacerse mediante la presión ejercida con el dedo pulgar o medirse objetivamente obteniendo el valor

numérico de la fuerza necesaria para la penetración, por medio de un penetrómetro dotado de un cilindro que penetra el fruto, normalmente sin piel. En el caso del aguacate, resulta imposible la utilización del penetrómetro en su forma original, por lo cual De la Plaza et al, (1975), sugiere la versión modificada por el acoplamiento al mismo de una doble pletina, permitiendo determinar la dureza de la pulpa de los frutos por la medición de la fuerza máxima de penetración de dicha doble pletina, que expresa la resistencia a la penetración, resultante de la combinación de las resistencias a la deformación y al esfuerzo cortante. Determinaciones más elaboradas y precisas de interés en estudios experimentales son las que emplean la "Máquina Universal de Ensayos" (Instron). En los últimos años se viene realizando extensa investigación dirigida a la detección no destructiva del grado de madurez de los frutos. Estos estudios que se basan en las propiedades físicas que evolucionan con el proceso de maduración dieron origen a diversos sistemas y técnicas como densidad, vibraciones mecánicas y sónicas, ultrasonido, propiedades ópticas y eléctricas, resonancia magnética nuclear, entre otros (Chen y Zun, 1991). Sin embargo la aplicación de estas técnicas en procesos reales para la automatización de toma de datos en procesos industriales o comerciales está limitado, principalmente debido a la necesidad de cambios en la estructura de manipulación de los frutos y la dificultad de instalación de las superficies sensibles. Los sistemas y técnicas basados en las relaciones existentes entre la firmeza de la

pulpa y los parámetros mecánicos que caracterizan la respuesta el impacto mecánico no destructivo presenta diversas ventajas como la manipulación mínima de los frutos, la no necesidad de sensores en los frutos, además del potencial de utilización en procesos reales con alta productividad. En trabajos recientes, varios investigadores han utilizado equipos de ensayo con impactadores controlados por ordenador, para el estudio de resistencia de frutos al impacto, evaluando la susceptibilidad a los daños que pueden ocurrir. Así, Chen et al (1985), García (1988), Ruiz-Altisent et al (1989, 1990, 1990a, 1991), Jaren (1990), Correa (1991), han realizado avances en el diseño y aplicaciones de un dispositivo para el estudio de impactos controlados en frutos. En estos trabajos se ha observado la clara relación entre los parámetros resultantes del impacto y el grado de madurez en pera, manzana y aguacate. Esta observación ha llevado a estudios de viabilidad de este método para la detección del estado de madurez de los frutos. Se ha comprobado que un impacto de pequeña energía resulta no destructivo y puede ofrecer datos fiables y útiles para la clasificación de frutos según el estado de madurez.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los Frutos

Se utilizó aguacate de la variedad "Hass" procedente de una plantación intensiva en Málaga, donde fueron recolectados y preseleccionados. La

recepción en el laboratorio del Instituto de Frío de Madrid fue a las 20 horas. Tras una rigurosa selección para homogeneizar por tamaño y color, eliminando los frutos que presentaban síntomas de ligero ablandamiento o con deficiente condición sanitaria y de integridad, se iniciaron los ensayos según se detalla a continuación:

Condiciones del Ensayo

Los frutos fueron acondicionados en cajas de plástico para frutas envueltas en bolsas selladas de polietileno de baja densidad de espesor 100 galgas (0,025 mm). Se establecieron dos lotes, de los que uno fue mantenido a 20° C y otro a 6°C. Los ensayos se realizaron para el lote en maduración (+20°C) al primer día, a los 5, 7, 9 y 11 días, y para el lote en conservación (+6°C), al primer día, a los 11, 18, 25, 32, 39, 46, 53, y 60 días desde la fecha inicial. Cada caja conteniendo 10 frutos constituyó una unidad de muestreo.

Técnicas Analíticas

a) Impactos Mecánicos - Para los ensayos de impactos fue utilizado un equipo de ensayo controlado por ordenador personal con impactador de acero con punta esférica de 19 mm de diámetro, el cual puede caer desde alturas regulables sobre el fruto a ensayar. Fue utilizado el impactador de 49,29 g de peso y altura de caída de 4 cm, condiciones de ensayo estudiadas y analizadas previamente, que resultan en impactos no destructivos.

Todo el conjunto está controlado por ordenador personal IBM dotado de un

software para la captación, transformación y representación de los parámetros mecánicos que resultan del impacto (FIG. 1).

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

Los ensayos se realizaron en tres puntos equidistantes, en la zona ecuatorial de cada fruto una vez eliminados unos 3 cm² de corteza, sin afectar al mesocarpio subyacente.

Las muestras de ensayo estuvieron formadas por cinco frutos, extraídos al azar, de cada lote.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza, comparación de medias y a una serie de análisis de regresiones lineales y no lineales.

RESULTADOS

El análisis de los resultados permitió seleccionar los parámetros del impacto que más se correlacionan con la fuerza máxima de penetración, que mide la firmeza de la pulpa, tomada como índice de madurez de referencia en el presente estudio. (Tabla 1). Los resultados obtenidos de los ensayos se recogen en las Tablas 2 y 3 corresponden a los valores medios de quince observaciones.

TABLA 1 - Parámetros del impacto seleccionados e incluidos en los análisis y valores de su correlación lineal con la firmeza (n=135 (6 °C) y 75 (20 °C)).

VARIABLES	UNIDADES	SÍMBOLOS	CORRELACIONES CON FUERZA MÁXIMA DE PENETRACIÓN	
			6 °C	20 °C
Duración del Impacto	ms	DU	-0,896	-0,950
Pendiente Fuerza/Tiempo	kN/s	FT	0,942	0,876
Pendiente Fuerza/DEF	N/mm	FD	0,943	0,885
Fuerza máxima	N	FM	0,947	0,940
Deformación máxima	mm	DM	-0,933	-0,944
Coficiente FT*FM	kN ² /s	CT	0,950	0,871
Coficiente FD*FM	(N ² /mm) * 10 ⁻³	CD	0,946	0,871
Fuerza máx. de Penetración	N	FP	1,000	1,000
Período de conservación	Días	Días	-0,910	-0,820

FIG 1- ESQUEMA DEL EQUIPO DE IMPACTOS

- 1 - Conjunto Impactador
- 2 - Unidad de Adquisición de Datos
- 3 - Ordenador
- 4 - Impresora

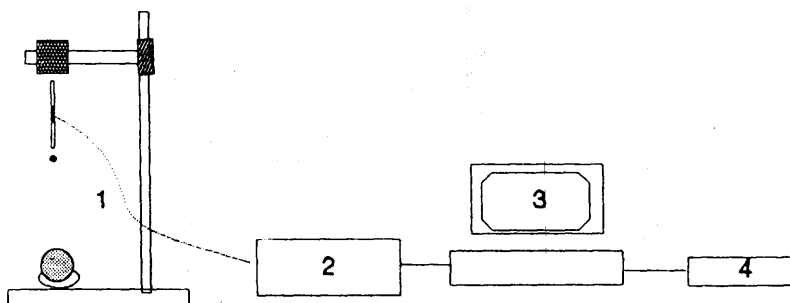


Tabla 2 - Fuerza máxima de penetración y parámetros del impacto para los frutos mantenidos a + 6 °C (Datos medios de 15 observaciones)*

Días	DU (ms)	FT (N/s)	FD (N/mm)	FM (N)	DM mm	CT (kN ² /s)	CD (N ² /mm)·10 ⁻³	FP (N)
0	2,753 ^D	66,719 ^A	93,031 ^A	58,663 ^A	0,852 ^B	3,929 ^A	5,480 ^A	76,453 ^A
11	2,733 ^D	64,487 ^A	88,827 ^A	57,669 ^A	0,839 ^B	3,327 ^A	5,132 ^{AB}	75,929 ^A
18	2,800 ^D	64,487 ^A	85,005 ^A	53,237 ^A	0,869 ^B	3,429 ^A	4,527 ^A	74,294 ^A
25	2,907 ^D	61,485 ^A	82,603 ^A	52,083 ^A	0,899 ^B	3,198 ^A	4,309 ^B	72,856 ^A
32	2,947 ^D	60,733 ^A	76,349 ^A	54,037 ^A	0,921 ^B	3,285 ^A	4,055 ^B	67,493 ^A
39	3,100 ^D	57,667 ^B	77,989 ^A	49,954 ^A	0,908 ^B	3,035 ^A	4,055 ^B	47,656 ^B
46	4,180 ^C	28,385 ^C	36,201 ^B	32,715 ^B	1,277 ^A	0,930 ^B	1,193 ^C	9,810 ^C
53	5,687 ^B	19,943 ^C	26,007 ^B	28,103 ^B	1,345 ^A	0,566 ^B	0,739 ^C	5,559 ^C
60	6,233 ^A	19,917 ^C	24,865 ^B	28,426 ^B	1,349 ^A	0,567 ^B	0,708 ^C	4,055 ^C

Tabla 3 - Fuerza máxima de penetración y parámetros del impactos para los frutos mantenidos a + 20 °C (Datos medios de 15 observaciones)*

Días	DU (ms)	FT (kN/s)	FD N/mm	FM (N)	DM mm	CT (kN ² /S)	CD (N ² /mm)·10 ⁻³	FP (N)
0	2,753 ^C	66,719 ^A	93,031 ^A	58,663 ^A	0,852 ^C	3,929 ^A	5,480 ^A	76,453 ^A
5	2,840 ^C	67,344 ^A	89,400 ^A	58,240 ^A	0,845 ^C	3,935 ^A	5,223 ^A	75,735 ^A
7	2,900 ^C	52,474 ^B	70,563 ^B	49,009 ^B	0,901 ^{BC}	2,582 ^B	3,471 ^B	67,755 ^A
9	3,127 ^B	35,871 ^C	47,205 ^C	39,093 ^C	0,991 ^{AB}	1,407 ^C	1,852 ^C	40,027 ^B
11	3,867 ^A	26,723 ^C	33,139 ^C	29,271 ^D	1,272 ^A	0,793 ^C	0,982 ^C	3,036 ^C

*Para cada variable las medias con la misma letra (A-D) no son significativamente diferentes (p<0,05) según el test de DUNCAN.

Evolución de la Firmeza

En las Figuras 2 y 3 así como en las Tablas 2 y 3 se puede apreciar con claridad la evolución de la pérdida de dureza de la pulpa, signo evidente de la maduración. Para el lote a + 20 °C el descenso de la firmeza empieza a los 6 días y para el lote mantenido a + 6 °C a los 30 días. Considerando

20 N de fuerza máxima de penetración como el indicativo de óptima calidad de consumo para el aguacate, se puede notar la clara influencia de la refrigeración al permitirse disponer de frutos aptos al consumo a los 45 días, frente 10 días a + 20 °C. Al final de los ensayos (11 días para el

lote a + 20 °C y 60 días para el de + 6 °C), los frutos llegan con valores de firmeza próximos a 3 N, condición de no comerciables.

Los datos obtenidos en su totalidad fueron sometidos a una serie de análisis, objetivando la búsqueda de modelos matemáticos que mejor describen la relación de la evolución de la firmeza de la pulpa frente al período de conservación. Por lo resultados de este análisis fue elegido el modelo matemático:

$$y = a * EXP(- (b/c) * EXP(-c*x)),$$

llamado de "Modelo Gompertz", que presentó coeficientes de correlación superiores al 90% para los dos lotes. Los valores de a, b y c son para 20 °C: a= 77,046 ; b= -0,0004 ; c= -0,811 con R=0,990 y para + 6 °C: a= 75,524 ; b= -0,0001 ; c= -0,207 con R= 0,980.

La representación gráfica de la evolución de la fuerza máxima de penetración frente al período de conservación, por los resultados experimentales y teóricos calculados por el modelo, están reflejados en la Figura 2 para + 20 °C y en la Figura 3 para + 6 °C. En ambas figuras se puede observar la bondad del ajuste del modelo matemático de "Gompertz" para la descripción del fenómeno físico-químico de la pérdida de firmeza, medida según el ensayo destructivo clásico de penetración, lo que constituye la primera constatación de la potencialidad de este modelo para el análisis de la evolución de los atributos mecánicos de los frutos.

Parámetros Mecánicos del Impacto

De la totalidad de los parámetros del impacto fueron seleccionados aquellos que presentaron más estrechas

correlaciones con la firmeza de la pulpa, tomada como índice de madurez de referencia para el presente estudio.

Así fueron seleccionados los parámetros recogidos en la Tabla 1: el tiempo del impacto (duración), las pendientes fuerza/tiempo y fuerza/deformación, fuerza máxima, deformación máxima y los coeficientes FT*FM y FD*FM. Las correlaciones lineales de estos parámetros seleccionados, con la fuerza máxima de penetración, es decir, con la firmeza de la pulpa, son todas significativas al nivel de 1%. Los siete parámetros del impacto seleccionados se introdujeron a continuación en un análisis de regresión lineal múltiple con el objeto de obtener una ecuación que describa la relación del conjunto de parámetros con la fuerza máxima de penetración. Los resultados de este análisis fueron los siguientes:

a) - para 20 °C: (n = 75)

$$FP = 2,839 - 1,670 * DU + 4,235 * FD - 4,792 * FT - 45,656 * DM + 2,197 * FM - 72,730 * CD + 79,362 * CT \quad (R = 0,974)$$

b) - para 6 °C: (n = 135)

$$FP = -1,394 + 0,544 * DU + 0,472 * FD + 0,083 * FT - 28,047 * DM + 0,916 * FM - 4,546 * CD + 5,653 * CT \quad (R=0,964)$$

c) - para 20 °C y 6 °C: (n = 210)

$$FP = 8,396 - 1,339 * DU + 0,966 * FD - 0,456 * FT - 48,779 * DM + 1,755 * FM - 16,740 * CD + 10,610 * CT \quad (R = 0,962)$$

En la Figura 4 se observa la comparación de los datos observados frente a los datos calculados por la

FIG 2-FUERZA MAXIMA DE PENETRACION
VALORES CALCULADOS Y OBSERVADOS (20°C)
(MODELO DE GOMPERTZ)

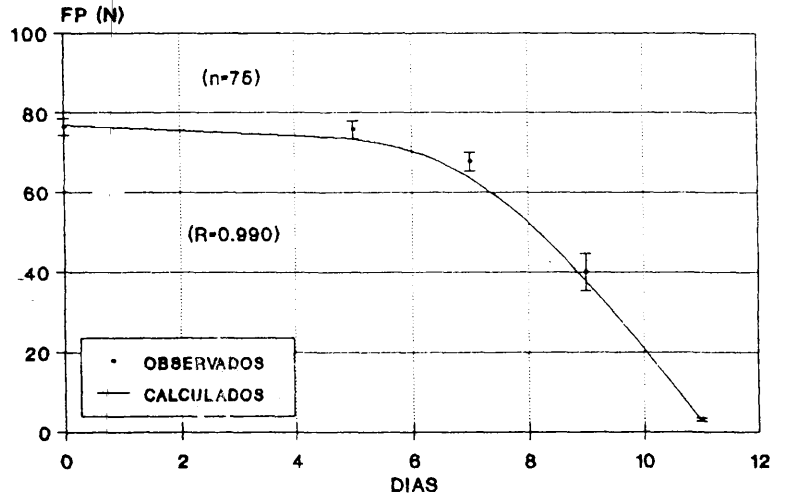


FIG 3-FUERZA MAXIMA DE PENETRACION
VALORES CALCULADOS Y OBSERVADOS (6°C)
(MODELO DE GOMPERTZ)

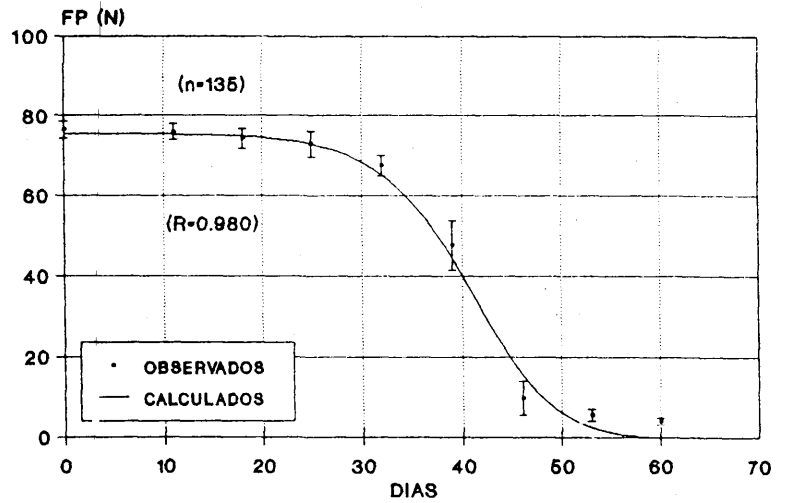
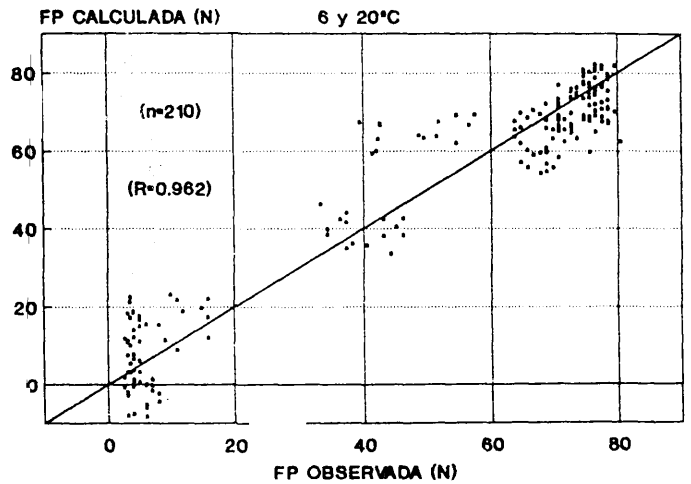


FIG 4- FUERZA MAXIMA DE PENETRACION
DATOS OBSERVADOS Y CALCULADOS (IMPACTOS)



ecuación c , que considera la totalidad de los datos para las dos temperaturas estudiadas ($n = 210$). Estas observaciones sugieren que la respuesta al impacto no destructivo puede ser tan indicativa del grado de madurez para el aguacate "Hass" en maduración a $+ 20^{\circ}\text{C}$ y en conservación a $+ 6^{\circ}\text{C}$, como el índice destructivo de madurez, firmeza de la pulpa, ya tradicionalmente utilizado para ese fin.

El cálculo del índice de madurez FP a partir de los parámetros de respuesta al impacto puede ser inmediato y automatizable. Los modelos pueden utilizarse para predecir el momento óptimo y la estrategia de comercialización del aguacate "Hass".

CONCLUSIONES

De esta investigación se concluye que los parámetros mecánicos del impacto controlado no destructivo son nuevos índices del grado de madurez de aguacate.

Se puede concluir también que el modelo matemático de Gompertz,

$$y = a * \text{EXP}(-(b/c) * \text{EXP}(-c * x)),$$

describe fielmente el fenómeno de pérdida de la firmeza de la pulpa durante los procesos de conservación y maduración.

BIBLIOGRAFÍA

- Chen, P.; Tang, S.; Zong S. (1985), Instrument for testing the response of fruit to impact. ASAE, paper 85-3537.
- Cheng, P. y Sun, Z. (1991), A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. J. Agricultural Engineering Res. (49), 85-88.
- Corrêa, P.C., De la Plaza, J.L. y Ruiz-Altisent, M. (1991), Ensayos no destructivos para la evaluación de la madurez post-recolección de aguacate. Actas de la 23ª Conferencia Internacional de Mecanización Agraria (FIMA 91), Zaragoza, abril, 1991, 499-508.
- De la Plaza, J.L.; Calvo, M.L.; Iglesias, M.C. y Luechinguer, R. (1975), La lycphilisation des avocats en tranches. Proc. XIVth. Int. Cong. of Refrigeration. Moscú (1975)3, pp 679-689.
- Delwiche, M.J. (1987), Theory of fruit firmness sorting by impact forces. Transactions of the ASAE. (30) 4, pp 1160-1166.
- Delwiche, M.J., McDonald, T.; Bowers, S.V. (1987a), Determination of peach firmness by analysis of impact forces. Transaction of the ASAE. (30) 1, pp 249-254.
- Delwiche, M.J.; Tang, S.; Mehlschau, J.J. (1989), An impact force response fruit firmness sorter. Transaction of the ASAE, (32) 1, pp 321-326.
- García, C. (1988), Impacto mecánico en frutos: técnicas de ensayo y aplicación a variedades de pera y manzana. Tesis Doctoral. ETSIA. UPM.
- Jarén, C.C. (1990), Efecto de los Tratamientos con calcio sobre las propiedades físicas de la manzana. 22ª Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario In. sobre Daños por Impacto. Zaragoza, pp 119-122.
- Nahir, D.; Schilovich, Z.; Ronen, B. (1986), Tomato grading by impact force response. ASAE, paper 86-3028.

Rodríguez, L.; Ruiz Altisent, 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., Tenerife.

Ruiz Altisent, M. (1989), Control de la madurez en frutos por medio de ensayos de impact. 21º Conl Int. de Mecanización Agraria. Zaragoza.

Ruiz Altisent, M. (1990), Daños por impactos en variedades de manzana, pera y otros frutos. 22º Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario Int, sobre Daños por Impactos. Zaragoza pp 115-116.

Ruiz Altisent, M. (1990a), Parámetros del impacto en relación con la magulladura y con las propiedades de los frutos. 22º Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario Int. Sobre Daños por Impacto. Zaragoza, pp 29-33.

FIG 5- FUERZA MAXIMA DE PENETRACION Y TIEMPO DE IMPACTO (6 °C)

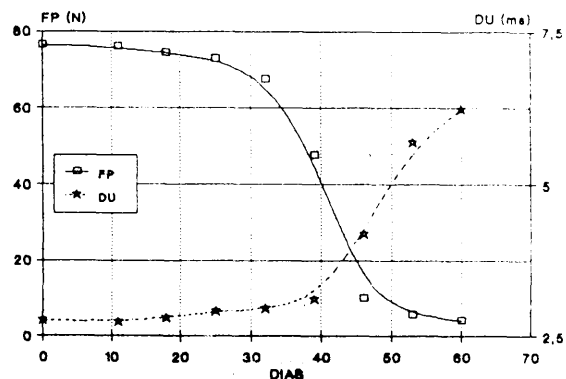


FIG 6- FUERZA MAXIMA DE PENETRACION Y TIEMPO DE IMPACTO (20 °C)

