

Sensores de aceleración e impactadores permiten determinar parámetros físicos vinculados a la calidad de la fruta.

Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos

DIEZMA, B.; MARAÑÓN, A.;
RUIZ-ALTISENT, M.;
FLORES, L.; DIEZ, J.
ETSIA -Madrid



Introducción

La exigencia de calidad en los productos alimentarios, y concretamente en frutas para consumo en fresco, es una demanda cada vez más generalizada en los mercados desarrollados. El concepto de calidad es amplio y, desde el punto de vista del consumidor, no incluye únicamente los re-

Manzanas envasadas como "Snacks" compiten con sandwiches en un estante. Su grado de firmeza debe ser óptimo.

querimientos que exige la normativa (calibre, color, ausencia de daños...), sino que comprende también la satisfacción de sus expectativas en cuanto a características organolépticas: sabor, firmeza/textura, color, aroma...

Los productores y distribuidores de fruta son conscientes de estos cambios y de la necesidad

de ofrecer los niveles de calidad exigidos por los consumidores. Para ello son necesarias técnicas que permitan la medida de diferentes cualidades (Ruiz-Altisent, 2000). Entre estas cualidades se encuentra la firmeza; el estudio de esta propiedad no cuantitativa y la determinación de las magnitudes más relacionadas con ella tiene

gran interés para la caracterización de la fruta en cuanto a su calidad organoléptica, su estado de madurez y su resistencia a daños mecánicos durante la recolección, manipulación y transporte hasta el consumidor (Barreiro y Ruiz-Altisent, 1996).

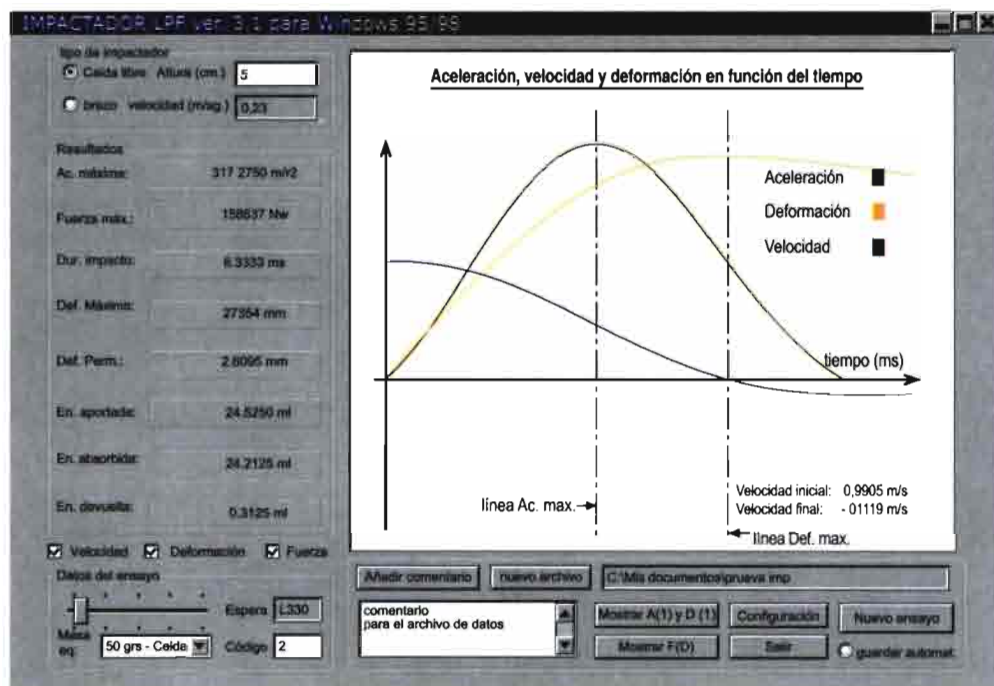
Antes de seguir hablando de la firmeza e introducir la descripción de un sistema impactador como instrumento para su determinación, conviene introducir algunas definiciones que ayudan a distinguir entre las propiedades (p. e. firmeza) y los métodos instrumentales para su determinación. Las propiedades mecánicas pueden clasificarse en "cualitativas" y "cuantitativas" o "magnitudes", éstas se utilizan para inferir las "cualitativas" cuando existe relación entre ellas. Así, podemos definir claramente magnitudes como resistencia, tensión, deformación unitaria, grado de elasticidad,... y propiedades cuantitativas como firmeza, textura o dureza que pueden relacionarse con aquéllas. Mediante los métodos instrumentales podemos medir las propiedades cuantitativas, las cuales nos permiten establecer las propiedades cualitativas (Barreiro y Ruiz-Altisent, 1996).

Líneas de trabajo

Durante mucho tiempo diversos grupos de investigación han estudiado profundamente las relaciones existentes entre los parámetros que caracterizan el impacto mecánico y el estado de firmeza de algunos frutos. La fuerza y la deformación durante un impacto son parámetros difíciles de medir, porque se producen rápidamente y los cambios se suceden en unos pocos milisegundos. Básicamente los desarrollos de dispositivos para el estudio del impacto en frutas han seguido dos líneas de trabajo con dos métodos de medir fuerza y aceleración:

- Sistemas que usan un transductor de fuerza (como objeto impactado o como objeto impactante) para medir la fuerza durante el impacto y otro dispositivo, generalmente electroóptico,

Figura 1:
Curvas de aceleración, velocidad y deformación en función del tiempo



El concepto de calidad no incluye solamente conceptos requeridos por la normativa, como calibre o color, sino también las características organolépticas como sabor, firmeza, textura o aroma

para medir deformación. Cuando el objeto impactado es una superficie rígida en la que se encuentra el elemento sensor, el fruto se deja caer desde una altura determinada sobre dicha superficie.

-Sistemas en los que un cuerpo de masa conocida golpea la fruta en un punto prefijado. Un acelerómetro montado en el objeto impactante mide la aceleración negativa durante el tiempo del impacto; la fuerza aplicada en cada instante puede obtenerse como el producto de la masa por la aceleración. Integrando dos veces la

curva aceleración vs. el tiempo se puede conseguir la historia de la deformación (ver Figura 1).

Los resultados de los estudios con diferentes especies y variedades de fruta han mostrado que las técnicas en las que los frutos impactan contra un sensor de fuerza y miden la fuerza en función del tiempo son más susceptibles a los cambios de peso y de radio de curvatura de los frutos, hasta el punto de obtener un enmascaramiento de los datos referidos a la firmeza, debido a que la fuerza de impacto es función de la masa y del radio de curvatura, la velocidad está limitada por la velocidad del fruto en caída libre y el punto de impacto no se puede controlar. Algunas aplicaciones han evitado estos inconvenientes, así Moltó y colaboradores (1999) desarrollaron una máquina para la detección de mandarinas bufadas consistente en una cinta que deja caer las mandarinas desde 3 cm de altura sobre una célula de carga. Una mandarina bufada es más blanda que una mandarina no bufada, por

lo tanto la anchura de la curva del impacto (fuerza vs. tiempo) es mayor para fruta bufada. El parámetro "anchura de la curva" fue uno de los utilizados en la definición del algoritmo de decisión. Para que la regla de decisión fuera independiente del tamaño de la fruta se introdujo un parámetro que ponderaba el tiempo que se tarda en alcanzar la máxima fuerza frente a dicha fuerza máxima.

Sensores de aceleración. Impactadores

En este artículo nos referiremos a los sistemas que incorporan acelerómetros como elementos sensores. Concretamente, se describirán dos dispositivos impactadores para la determinación de firmeza en fruta: impactador vertical o de caída libre e impactador lateral. Ambos dispositivos han sido diseñados, desarrollados y mejorados en sucesivas versiones

Detalle del impactador de caída libre.



en el Laboratorio de Propiedades Físicas de la Escuela de Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, bajo la dirección de la profesora Margarita Ruiz Altisent. Un primer prototipo fue diseñado y fabricado en la Universidad de

California, Davis, por los profesores P. Chen y M. Ruiz-Altisent.

Impactador vertical o de caída libre

El cuerpo impactante está formado por un vástago cilíndrico

La vanguardia en goteros autocompensantes



ADI Integral

ADI: Tuberías con gotero integrado autocompensante*



ADO: Gotero autocompensante para pinchar.

ADO On line

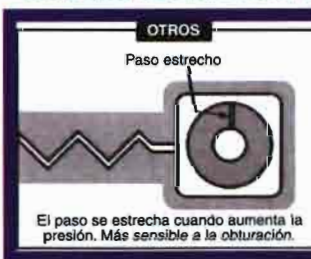


- Máxima uniformidad (Categoría A).
- Autolimpieza.
- Flujo turbulento.
- Paso crítico 10 veces mayor que otros.

- Mayor superficie de filtración.
- Operativo en altas presiones.
- Rápida entrada en modo de autocompensación.

GRAN AHORRO DE AGUA.

Máxima resistencia a la obturación



Solicite nuestro CD-ROM Interactivo



Agro-Systems Consorcios s.a.

Barcelona:
 Prof. Av. Arrahona,
 Pla. 41-43, P. 1. Santiago
 08210 Barberà del Vallès (Barcelona)
 Tel.: 93 729 44 47
 Fax: 93 729 26 89

Madrid:
 C/ Chile, 10,
 Oficina N° 34-35,
 28290-LAS MATAS (Madrid)
 Tel.: 91 630 06 53
 Fax: 91 630 37 83

Valencia:
 N-III, Km. 328,
 P. I. El Oliveral, Nave A-4
 46190-RIBARROJA (Valencia)
 Tel.: 96 166 89 23
 Fax: 96 166 89 70

Sevilla:
 P. I. PISA, C/ Brújula, 3
 41927- Mairena del Aljarafe
 (Sevilla)
 Tel.: 95 418 52 50
 Fax: 95 418 52 42

(*)Fabricado por:
AGROMETZER S.A.
 P. I. Manzanares. Calle "D", pla. R-188
 13200 Manzanares. Ciudad Real.

en cuyo extremo puede acoplarse una cabeza semiesférica, esto permite modificar la masa del cuerpo impactante, así como el diámetro de la semiesfera, acoplando diferentes cabezas. Después de llevar a cabo diversos experimentos para determinar la masa y el diámetro óptimos del cuerpo impactante, se utiliza habitualmente una cabeza metálica semiesférica con un diámetro de 19 mm y con una masa tal que hace que vástago y cabeza tengan un peso de 50,4 g. Un pequeño acelerómetro está unido a la varilla. En un soporte vertical se encuentra montado un electroimán que actúa como elemento disparador para permitir la caída del cuerpo impactante en el momento preciso. La altura de caída de la cabeza semiesférica es fácilmente regulable mediante una rueda que permite el desplazamiento del brazo donde se aloja el electroimán. La fruta se coloca en un so-

porte cóncavo que impide casi totalmente su movimiento al ser golpeada. La muestra se puede orientar fácilmente para conseguir que el punto de impacto sea el adecuado en cada ensayo (Figura 1).

Cuando la masa impactante entra en contacto con la muestra, la señal del acelerómetro es enviada a la tarjeta digitalizadora a través de un adaptador y amplificador de señal externo. Los datos almacenados son transferidos a un ordenador, donde un programa se encarga de analizar la señal, extraer los parámetros característicos del impacto y almacenarlos en los archivos correspondientes. El usuario controla el conjunto a través del software desarrollado a tal efecto, el cual permite modificar las condiciones de trabajo.

El tiempo de ensayo es de 15-20 segundos, incluida la colocación de la fruta y la realización del impacto.

Evidentemente, la masa impactante es un parámetro importante que afecta a la señal recogida y a los posibles daños en la fruta.

Estudios realizados por P. Chen, M. Ruiz-Altisent (1996) concluyen que la disminución de la masa del cuerpo impactante (de 50 a 10 g) supone mayores diferencias en los valores de pico de

■ **Un impactador vertical consta de un vástago cilíndrico en cuyo extremo puede acoplarse una cabeza semiesférica. Estos elementos pueden modificarse, para obtener distintas fuerzas de impacto**

SUNSAVER
SERVICIO PROFESIONAL

Filme para invernadero
EURO 4

MALLAS ANTI-TRIP'S y de SOMBREO

Solo servimos todo a medida

CUBRESUELOS anti-hierbas, acolchado para cubrir embalses...

ALU PANTALLA TÉRMICA SHADE

PLÁSTICOS

SUNSAVER, s.l.

Polígono Industrial La Redonda - Calle 5, Nave 8 - 04710 Sta. M^a del Aguila - EL EJIDO (Almería)
Tels.: 950 58 30 33 - Fax: 950 58 31 76 - e-mail: sunsaver@serinves.es - <http://www.serinves.es/sunsaver>

aceleración entre frutos duros y frutos blandos y una disminución de los daños producidos en el producto. Sin embargo, hay que optar por solución de equilibrio al elegir la masa del cuerpo impactante, puesto que se deben considerar otros factores:

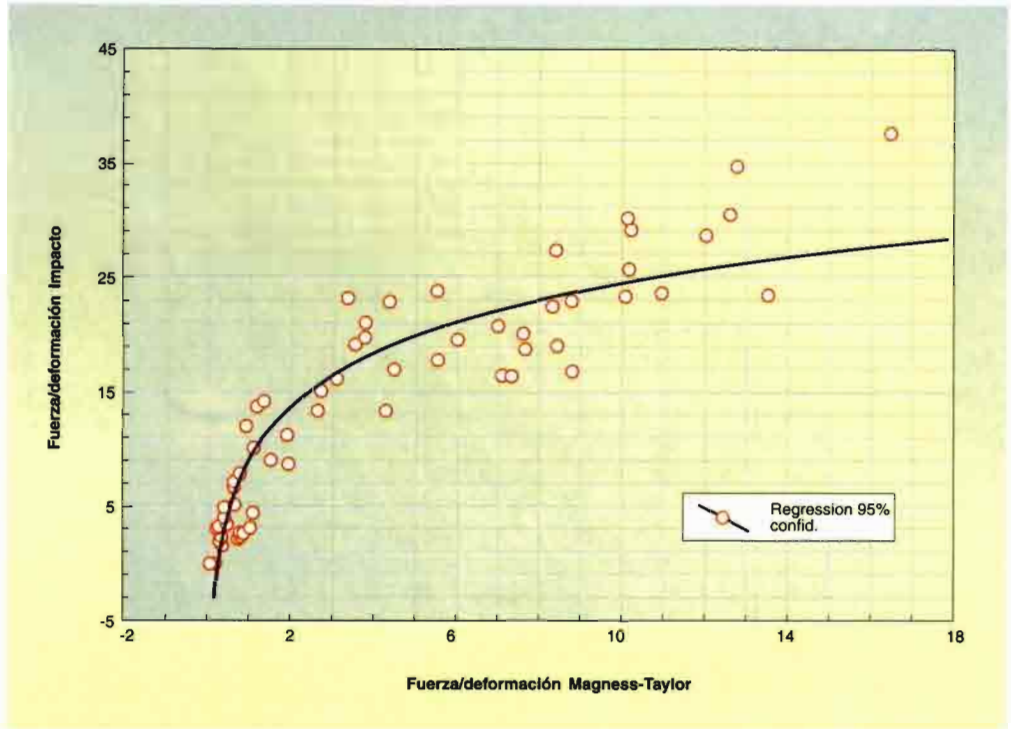
la masa del acelerómetro es al menos de 2 g, la masa del cuerpo impactante ha de ser notablemente mayor, la velocidad del impacto ha de mantenerse constante en todos los impactos, cosa que se hace más difícil al disminuir la masa del cuerpo impactante.

■ En los impactadores laterales, la masa impactante es un cuerpo semiesférico instalado en el extremo de un brazo pivotante, que gira y alcanza la muestra por un costado

Impactador lateral

En el impactador lateral, la masa impactante es un cuerpo semiesférico unido por el centro de percusión a un brazo pivotante y un pequeño acelerómetro montado en la parte posterior de la semiesfera registra las aceleraciones de signo negativo que se producen en el impacto. El impacto se produce cuando gira el brazo pivotante y la semiesfera alcanza la muestra. El impactador lateral está constituido por el sensor (acelerómetro) y los elementos que lo sustentan y permiten su movimiento. Estos elementos son un conjunto de piezas elaboradas en aluminio y metacrilato, que aseguran su estabilidad, además de un electroimán que retiene y libera el brazo impactante según nos interesa, dos rodamientos y un pequeño muelle. La señal es recogida y analizada de la misma manera que en el dispositivo impactador vertical.

Figura 2:
Fuerza/deformación Magnes - Taylor vs. Fuerza/deformación Impacto.

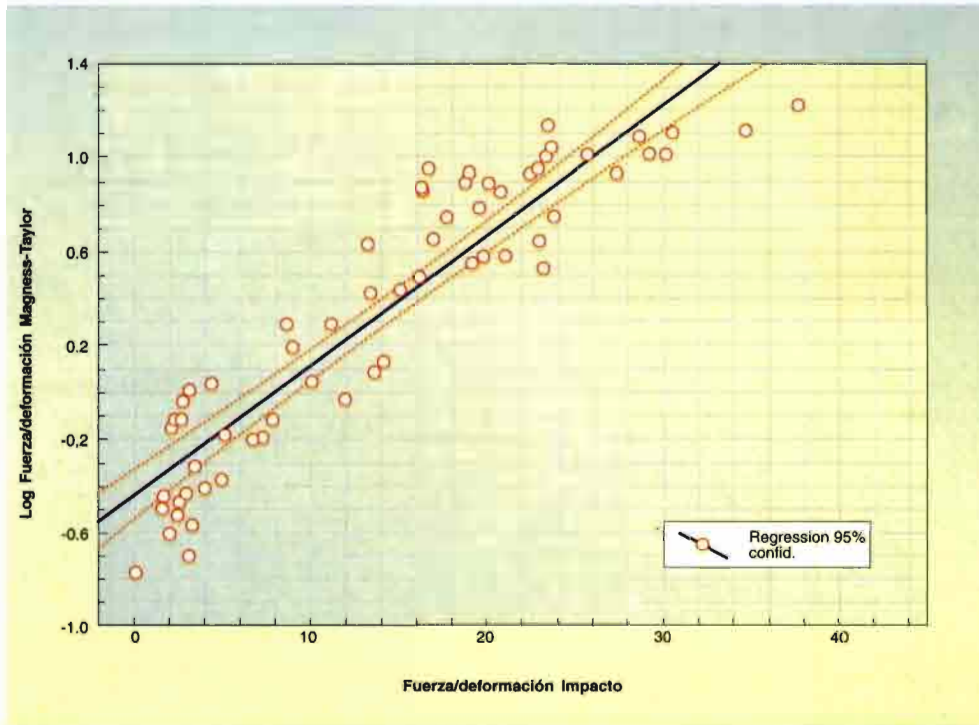


Detalle del impactador lateral.

Se han diseñado y desarrollado prototipos de impactador lateral para su uso en líneas de clasificación y manipulación de fruta, consiguiéndose resultados esperanzadores en cuanto a la po-

sibilidad de su uso en líneas comerciales, con el fin de segregar la fruta según su estado de firmeza. Tanto el impactador de caída libre como el impactador lateral miden directamente el tiempo de impacto y la aceleración. El resto de los parámetros se obtienen a partir de estas dos medidas, teniendo en cuenta las relaciones entre los parámetros del impacto.

En los ensayos, según condiciones de trabajo, están determinadas la masa del cuerpo impactante, la altura de caída y/o la velocidad de impacto de la masa impactante. Como la aceleración y la duración del impacto se miden con el acelerómetro, es posible extraer fácilmente algunos parámetros del impacto: velocidad inicial, velocidad final, fuerza máxima, deformación máxima, deformación permanente, energía aportada, energía absorbida y energía devuelta. En la práctica, los parámetros más usados para la determinación de firmeza por medio de impactos de baja energía

Figura 3:**Fuerza/deformación impacto vs.
Log Fuerza/deformación Magness - Taylor.**

han sido la aceleración máxima y el tiempo de impacto.

El tiempo requerido para un ensayo manual utilizando el impactador lateral es de 20-25 segundos. La velocidad de trabajo del impactador lateral instalado en línea puede llegar a 8 frutos/segundo.

Características del impactador

En el Laboratorio de Propiedades Físicas se han venido utilizando prototipos de impactador vertical y lateral con diversas especies y variedades de fruta. A lo largo de este tiempo, la experiencia adquirida y los avances en programación y adquisición de datos han permitido el desarrollo de un programa que facilita la tarea del ensayo. Así pues, además de los sensores y los elementos que permiten su movimiento o van asociados a él, se encuentran todos aquéllos que se encargan de la adquisición de la señal, desde

■ **La aplicación de tecnologías informáticas a la determinación de parámetros físicos relacionados con la calidad contribuye a mejorar esas determinaciones**

el acelerómetro y su posterior procesado. Estos elementos son:

- Amplificador externo que adapta y amplifica la señal para obtener mayor rango dinámico y alineación.

- Tarjeta de adquisición de datos de 12 bits y hasta 40 kHz de frecuencia de muestreo, con un rango de voltaje de 10 V a -10 V, lo que nos permite que el salto de aceleración entre dos niveles consecutivos sea de 0.0625 g.

- Programa para Windows

95/98/NT que permite controlar las variables de ensayo, almacenar las medidas hechas y extraer los parámetros de impacto. Mediante diversas pantallas el usuario puede modificar las variables del ensayo (altura, frecuencia de muestreo...), ver las curvas de aceleración, velocidad y deformación para cada impacto y decidir si se guarda cada uno de los ensayos

- Comparación con métodos de referencia

Para la utilización de un impactador como instrumento para la determinación no destructiva de la firmeza y, en general, para el desarrollo e implantación de cualquier nuevo método, en la práctica se precisa de una comparación con los métodos tradicionalmente empleados en el sector. En lo que se refiere a medidas instrumentales que den una idea del estado de firmeza de las frutas, el ensayo de penetración Magness-Taylor ha sido y es una práctica ampliamente utilizada – es un método destructivo a través del cual se establece la fuerza de penetración (N, kgf o kg/cm²)–, necesaria para introducir un vástago cilíndrico de base semiesférica de 8 u 11 mm de \varnothing en la pulpa, después de quitar la piel hasta una determinada profundidad a una velocidad de 10-20 mm/min). Por ello, es de utilidad estudiar la relación entre los parámetros de impacto y los del ensayo de penetración Magness-Taylor, a pesar de que este ensayo tiene una repetición muy baja. Los estudios llevados a cabo con diferentes especies de fruta han demostrado que la fuerza de penetración en el ensayo Magness-Taylor es un parámetro con una elevada variabilidad intrínseca, por lo que en muchos casos es más adecuado el uso del cociente fuerza máxima/deformación en fuerza máxima, el cual es más preciso y está menos influido por las imprecisiones del ensayo. La determinación de este ratio en un ensayo de penetración requiere el empleo de una máquina universal de ensayos (texturómetro), que



Impactador lateral en línea.

permite fijar la velocidad, la profundidad y otros parámetros del ensayo.

Por todo lo anterior, para la comparación de estos dos sistemas de firmeza se ha empleado el coeficiente de correlación entre el ratio fuerza/deformación determinado por impacto y el mismo ratio determinado por penetración Magness-Taylor para varias especies de frutas con diferentes esta-

dos de firmeza. Se observa que siguiente podemos ver que la relación existente entre ambos ratios es una relación exponencial. En la primera parte de la curva (cuando los frutos están más blandos), el ensayo de impactos controlados es más segregante que el ensayo de penetración Magness-Taylor; esto es, para valores del ratio fuerza/deformación bajo el ensayo de impacto es capaz de diferenciar varios niveles de firmeza, mientras que el ensayo de penetración Magness-Taylor no da información. Si además se hace un ajuste logarítmico para relacionar ambas variables, el valor de la correlación es de $r=0.92386$ ($r^2=0.8535$). Este resultado muestra que la fuerza/deformación impacto es un parámetro obtenido de forma no destructiva y rápida, que podría sustituir al ensayo destructivo Magness-Taylor a la hora de determinar firmeza en laboratorio y líneas de manipulación.

Conclusiones

La aplicación de nuevas tecnologías a la determinación de los parámetros físicos relacionados con la calidad puede contribuir en gran medida a mejorar ésta, satisfaciendo, por otra parte, la exigencia demandada por los diferentes mercados de clientes.

En este aspecto, y para la determinación de la variable firmeza/textura tan intrínsecamente relacionada con la calidad final del producto, se plantea la utilización de sensores de aceleración (acelerómetros), llamados "impactadores", bien en caída libre, bien en impacto lateral. Para estos últimos, se han desarrollado prototipos que permiten su utilización en líneas de manipulación, con el objetivo de diferenciar en grupos de firmeza.

La comparación con el procedimiento de estimación de firmeza tipo Magness-Taylor, ampliamente reconocido, muestra un mejor poder segregante para frutos más blandos en gráficas de fuerza/deformación Magness-Taylor vs. fuerza/deformación impacto y una correlación de

$r=0.92386$ en gráficas de Fuerza/deformación Impacto vs. Log fuerza/deformación Magness-Taylor. Ambos resultados demuestran que la fuerza/deformación impacto es un parámetro obtenido de forma rápida y no destructiva, que puede jugar un papel muy importante como medida instrumental de la firmeza, no destructiva y con ventajas sobre el tradicional ensayo de penetración.

Bibliografía

- Barreiro, P. 1994. Tesis Doctoral: Modelos para la simulación de daños mecánicos y desarrollo de un algoritmo de evaluación de maquinaria para los principales cultivos de albaricoque, manzana, melocotón y pera, Madrid, UPM.
- Barreiro, P., Ruiz-Altisent M. 1996. *Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales.* *Fruticultura Profesional*
- Chen, P., Ruiz-Altisent M., Barreiro P. 1996. *Effects of impacting mass on firmness sensing of fruits.* *Transactions of the ASAE 39(3):1019-1023*
- Chen, P., Tang, S., Chen, S. 1985. *Instrument for testing the response of fruits to impact.* ASAE 1985.
- Delwiche, M.J., Sarig, Y. 1989. *A probe impact sensor for fruit texture measurement.* Presentado a American Society of Agricultural Engineers, New Orleans.
- Gutiérrez, A., Ramos, P., Moltó, E. 1999. *Desarrollo de una máquina para la detección de mandarinas bufadas basada en sensores de firmeza.* *Actas de Horticultura (27).* SECH

Para saber más...

- Gutiérrez, A., Ramos, P., Moltó, E. 1999. *Desarrollo de una máquina para la detección de mandarinas bufadas basada en sensores de firmeza.* *Actas de Horticultura (27).* SECH
- Barreiro, P. 1994. Tesis Doctoral: Modelos para la simulación de daños mecánicos y desarrollo de un algoritmo de evaluación de maquinaria para los principales cultivos de albaricoque, manzana, melocotón y pera, Madrid, UPM.

■ **La fuerza y la deformación durante un impacto son parámetros difíciles de medir, porque los cambios se producen rápidamente, en milésimas de segundo**