

DETECCIÓN ÓPTICA DE HARINOSIDAD EN MANZANA MEDIANTE UNA NUEVA TÉCNICA LÁSER

C. Valero, P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent,

Dpt. Ing. Rural, E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España
cvalero@iru.etsia.upm.es

R. Cubeddu, A. Pifferi, P. Taroni, A. Torricelli, G. Valentini

Dpt Fisica, CEQSE-CNR, Politecnico di Milano, Italia

EC-FAIR project #CT96-1060

D. Johnson, C. Dover,

Horticultural Research International, East Malling, Reino Unido

Abstract

A new optical laser technique to detect mealiness in apple. Mealiness, a textural disorder that produces quality loss, combines softness and absence of juiciness. The only one (destructive) test to measure it, combines information from a mechanical test on fruit probes to classify the samples according to instrumental mealiness. Time-domain laser reflectance spectroscopy (TDRS) is able to assess simultaneously and independently the absorption of the light inside the irradiated body (μa coefficient) and the scattering of the photons across the tissues ($\mu's$, transport scattering coeff.) measured at each wavelength. Using VIS & NIR lasers as light sources, TDRS was applied to Golden Delicious and Cox apples ($n=90$), conforming batches of untreated samples and storage-treated (20°C & $95\%\text{RH}$) to induce mealiness development. The collected database was clustered into different groups according to their instrumental mealiness. Optical variables were used to build discriminant functions, achieving classification scores 75 - 89% of correctly identified mealy apples.

Palabras clave: textura, firmeza, fibra óptica, espectroscopia láser de reflectancia difusa con resolución temporal; texture, firmness, fibre optics, time domain reflectance spectroscopy

1. Introducción

Hoy en día, la decisión de compra del consumidor está afectada a la vez por la apreciación del aspecto exterior de la fruta y por su calidad interna. Entre los principales parámetros de calidad apreciados por el consumidor en manzanas se encuentra la harinosidad. La harinosidad ha sido definida como un atributo sensorial negativo de la textura que combina la sensación de tejido desagregado con la falta de jugosidad al masticar. Se asocia a cosechas tardía y periodos de conservación largos. El desarrollo de la harinosidad puede ser acelerado también por la combinación de altas temperaturas en cámara con humedad relativa muy alta (De Smedt, 2000)

La caracterización de la harinosidad se ha llevado a cabo tradicionalmente por la vía sensorial, mediante paneles de catadores que definen descriptores específicos. Un proyecto europeo reciente (FAIR CT95-0302) estuvo dedicado a la comparación entre medidas instrumentales de la harinosidad y medidas realizadas mediante catadores, principalmente en manzana (Barreiro et al, 1998) pero también en melocotón y tomate. Empleando un ensayo instrumental destructivo (compresión de una probeta confinada de fruta) ampliamente empleado para la evaluación de diversas propiedades reológicas de frutos, se redefinió el concepto de harinosidad en manzana y melocotón mediante el establecimiento de una escala instrumental de harinosidad, que sintetizaba las percepciones humanas (falta de sensación crujiente, falta de dureza y ausencia de jugosidad) correlacionando bien con sus correspondientes descriptores.

También se intentaron distintos métodos de detección no destructiva: espectroscopia infrarroja, impacto de baja energía, respuesta acústica, propagación de ultrasonido a través de los tejidos de la fruta y resonancia magnética nuclear. Ninguna de ellas por separado mostraron utilidad suficiente para la identificación de la harinosidad, pero la combinación de espectroscopia NIR (para la detección del contenido y distribución del agua) unida al impacto de baja energía (como ensayo de caracterización de la dureza) parecen ser adecuadas para la segregación de algunos niveles de harinosidad en melocotón (Ortiz, 2000).

Sin embargo, el desarrollo de técnicas no destructivas sigue siendo interesante, especialmente si son rápidas y pueden ser introducidas en líneas de clasificación de fruta. La espectroscopia de reflectancia difusa con resolución temporal (ERDT o TDRS en inglés, time domain diffuse reflectance spectroscopy) es una técnica espectroscópica no convencional, que fue desarrollada en el ámbito clínico para la detección de discontinuidades en tejidos y la localización de tumores (Cubeddu et al 1999). En este trabajo se ha aplicado la técnica ERDT a la caracterización de las propiedades ópticas de lotes de fruta seleccionados, para extraer información relevante sobre distintos aspectos de su calidad interna, como es el caso de la harinosidad.

2. Materiales y métodos

2.1. Material vegetal

El objetivo del trabajo ha sido el estudio de la aplicabilidad de la ERDT para la detección no destructiva de harinosidad en manzana. Por ello se prepararon distintos lotes de muestras a lo largo de los meses anteriores:

1. Manzanas con "harinosidad natural", para comprobar si este desorden está presente en muestras de recolección tardía. Durante la última semana de Octubre 1998 se recolectaron manzanas Golden Delicious de plantaciones en Almunia de D^a Godina, (Zaragoza). Se seleccionaron a priori las manzanas formando dos lotes: las no harinosas y las posiblemente harinosas. De todas las recogidas se tomaron 25 "frescas" (no harinosas) y 25 posiblemente harinosas y se enviaron a Milán en noviembre para la toma de datos. Los individuos a priori harinosas fueron escogidos de los árboles basándose en dos criterios subjetivos: color externo (las harinosas son más doradas que las frescas) y dureza al tacto.

2. Manzanas con desarrollo acelerado de harinosidad mediante conservación. En la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica) fueron preparadas a lo largo del otoño muestras de la variedad Cox de recolección temprana, que se mantuvieron en conservación hasta noviembre en condiciones especiales: 20 de ellas fueron introducidas en cámara ULO ('ultra low oxygen') para detener su maduración, mientras que otras 20 se introdujeron en una atmósfera de 20 °C y 95% de humedad relativa, condiciones que favorecen el desarrollo de la harinosidad. No se esperaba que todas ellas aparecieran finalmente harinosas, como se confirmó posteriormente.

Tabla 1. Manzanas medidas, tratamiento de conservación / cosecha, estado interno esperado a priori y longitudes de onda en las que se realizaron las medidas ERDT.

| Variedad | # fr | Origen | Tratamiento | Estado interno esperado | ERDT VIS λ_s (nm) | ERDT NIR λ_s (nm) |
|------------------|------|---------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cox | 20 | Bélgica | cámara ULO, 16 días | "no harinosas" | 672, 750, y 818 | 900-1000 (cada 10nm) |
| Cox | 20 | Bélgica | RH 95%, 20°C, 16 días | "harinosas" | 672, 750, y 818 | 900-1000 (cada 10nm) |
| Golden Delicious | 25 | España | Cosecha tardía | "no harinosas" | 672, 750, y 818 | 900-1000 (cada 10nm) |
| Golden Delicious | 25 | España | Cosecha tardía | "harinosas" | 672, 750, y 818 | 900-1000 (cada 10nm) |

El uso de la expresión “a priori harinoso” y similares se refiere al hecho de que, hasta la fecha, no hay ningún método no destructivo para saber si cada pieza de fruta de un lote es realmente harinosa, hasta que es destruida. El único método que ha demostrado su fiabilidad es un ensayo mecánico destructivo que combina información de las propiedades mecánicas y del jugo extraíble para clasificar las muestras según una escala de harinosidad instrumental.

2.2. Ensayo de referencia (firmeza) y medida ERDT

Los ensayos realizados sobre las muestras pueden ser resumidos como se indica en los siguientes párrafos, en orden cronológico.

Medidas ERDT. La técnica ERDT se basa en el ensanchamiento temporal de un corto pulso de luz inyectado en la muestra y transmitido a través de sus tejidos. La fuente de luz es un haz láser, monocromático por tanto, pero sintonizable a ciertas longitudes de onda. La luz es introducida en la muestra a través de su piel intacta mediante una fibra óptica perpendicular a la superficie. El haz de luz cruza los tejidos y parte de él sale de nuevo por una zona cercana a la de inserción (a 20 mm), donde se posiciona la fibra colectora. La región tridimensional del tejido delimitada por la luz que es capaz de pasar de una fibra a otra se define como la zona formada por los caminos ópticos recorridos por los fotones que poseen mayor probabilidad de ser recuperados, después de sufrir reflexiones internas. Si se aplica un modelo teórico adecuado para el análisis experimental de los datos y se asumen ciertas hipótesis, es posible calcular a la vez el coeficiente de absorción (μ_a) y el coeficiente de dispersión de transporte (μ'_s) con buena precisión, con lo que se consigue una caracterización óptica de los tejidos completa. Pueden encontrarse más detalles sobre esta técnica en las referencias bibliográficas (Cubeddu et al. 1994; Cubeddu et al. 1999). En este estudio se registraron los coeficientes de absorción y de dispersión de ambas caras de cada muestra en varias longitudes de onda: el límite del visible (672, 750 y 818 nm empleando diodos láser) y NIR (desde 900 a 1000 nm, cada 10nm empleando un laser sintonizable).

Compresión de probeta confinada. Utilizando un aparato de sobremesa Texture Analyser TA-XT2, probetas cilíndricas de fruta de 1,7 cm de altura fueron deformadas 2,5 mm a una velocidad de 20mm/min, invirtiendo el proceso a la misma velocidad. Se realizaron dos repeticiones por fruto, una por cada cara, empleando posteriormente el valor medio de ambas. Las probetas se ensayaron insertas en un rodete cilíndrico de 15,3 mm de diámetro. Debajo se colocó una porción de papel de filtro (Albet nº 1305 of 77.84 gr/m²) para recoger el zumo extraído durante la compresión, midiendo el área de la mancha generada mediante análisis de imagen (variable “área de jugo”, JUICEARE, mm²). De la curva de compresión se calculó el valor de la dureza instrumental a partir de la pendiente fuerza/deformación (variable SLOPE1LU, N/mm)

3. Resultados

Empleando las variables extraídas del ensayo de compresión confinada se procedió primeramente a clasificar a posteriori todas las muestras según su estado real de harinosidad instrumental. Una muestra fue adjudicada a la categoría “harinosa” para valores de dureza instrumental SLOPE1LU < 20 N/mm y área de jugo JUICEARE < 4 cm². Para poder ensayar posteriormente diferentes modelos, se clasificaron sucesivamente en: cuatro categorías texturales (“harinosa”, “seca” pero firme, “blanda” pero jugosa, y “fresca”), tres categorías (“harinosa”, “no harinosa”= seca o blanda, y “fresca”) y dos categorías (“harinosa”, y “no harinosa”). Nuevas variables auxiliares (MEALY4, MEALY3 y MEALY) fueron añadidas al análisis de datos con los códigos de adscripción a cada categoría.

Es posible hacer una primera comparación entre el estado interno esperado de las muestras antes de ensayarlas y la clasificación posterior según su nivel de harinosidad instrumental destructiva, como se muestra en las figuras 1 y 2.

Posteriormente, para crear modelos de clasificación no destructiva a partir de los coeficientes ERDT se empleó análisis discriminante, creando funciones de clasificación usando los coeficientes de absorción y dispersión en las distintas longitudes de onda como variables independientes y el código de categoría textural (MEALY4, MEALY3 o MEALY2) como variable dependiente. Dado que el número de individuos en cada categoría no era homogéneo, las clasificaciones a priori para las funciones fueron calculadas como proporcionales al tamaño de grupo. Las funciones fueron modelizadas con un criterio de selección de variables paso a paso, eligiendo o descartando cada variable en función de su contribución independiente a la capacidad discriminatoria global del modelo.

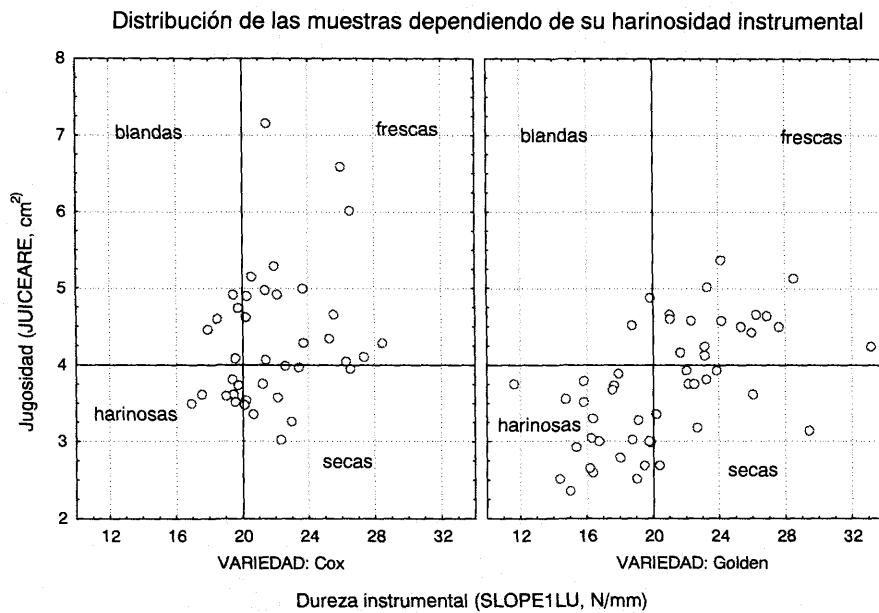


Figura 1. Distribución de la nube de puntos de las manzanas ensayadas sobre los ejes de dureza instrumental y jugosidad. Los valores límite 20 N/mm y 4 cm² definen cuatro regiones o estados texturales según el nivel de harinosidad instrumental.

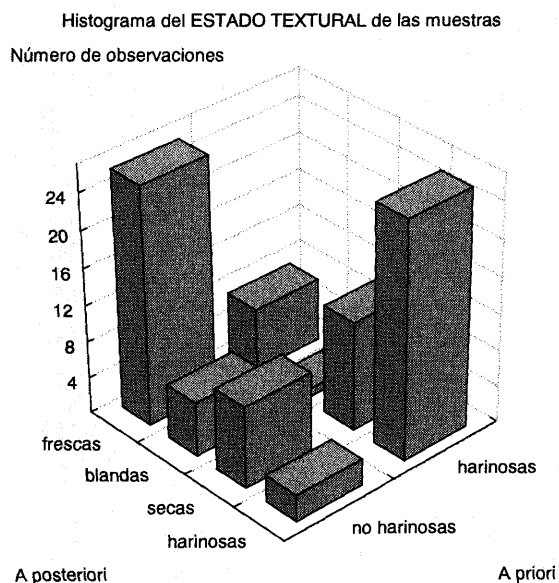


Figura 2. Comparación de los estados texturales antes (a priori) de realizar los ensayos destructivos para la determinación de la harinosidad instrumental y después (a posteriori).

Se creó primeramente un modelo (tabla 2) empleando los datos conjuntos de ambas variedades de manzana, para la discriminación entre “harinosas” y “no harinosas” empleando 7 variables ERDT (tanto absorción como dispersión, entorno a 670 nm y otras longitudes NIR). Se obtuvo un 85,5% de frutos bien clasificados. Se observó que hubo más muestras harinosas incorrectamente clasificadas como no harinosas (8/21) que al revés (5/56).

Tabla 2. Resultados de clasificación (Cox y Golden) en “harinosas” o “frescas” (= no-harinosas). Filas: observadas. Columnas: predichas. p = probabilidades a priori.

| | Bien clasificadas | frescas $p=.68$ | harinosas $p=.32$ |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------------|
| frescas | 91.80% | 56 | 5 |
| harinosas | 72.41% | 8 | 21 |
| Total | 85.56% | 64 | 26 |

La capacidad de segregación de este modelo fue validada internamente (tabla 3) empleando alternativamente parte de la base de datos como subconjunto de aprendizaje y la otra mitad como subconjunto de validación para la clasificación de anónimos. Los subconjuntos se eligieron aleatorizando las muestras.

Tabla 3. Validaciones internas del modelo de clasificaciones de la tabla 2.

| Iteración | % de “no harinosas” bien clasificadas | % de “harinosas” bien clasificadas | Total |
|-----------|--|---------------------------------------|--------|
| 1 | 93,10% | 81,25% | 88,89% |
| 2 | 78,13% | 76,92% | 77,78% |
| 3 | 90,63% | 69,23% | 84,44% |
| 4 | 89,66% | 50,00% | 75,56% |

A la hora de estimar más clases texturales, el resultado de las clasificaciones obtenidas con los nuevos modelos creados empeoró considerablemente. El modelo para la estimación de tres categorías (MEALY3: “harinosa”, “no harinosa” y “fresca”) clasificó 72,2% de las muestras correctamente en ambas variedades, mientras que el modelo de cuatro categorías (MEALY4: “harinosa”, “seca”, “blanda” y “fresca”) llegó al 73,3%. En ambos casos se comprobó que las clases centrales (“seca”, “blanda” o su unión “no harinosa”) fueron las peor predichas, como es de esperar.

Para reducir el número de variables en los modelos, se realizaron nuevos análisis modificando el nivel de tolerancia en la elección paso a paso. Se vio que todas las variables que siguieron presentes en los modelos fueron coeficientes de absorción, mientras que los de dispersión fueron eliminados en el proceso. Las longitudes de onda permanecieron alrededor del 670 nm y en la zona 960 a 980 nm.

4. Discusión

Como se ha observado en otros estudios, el proceso de obtención de muestras harinosas no es infalible. De las manzanas Cox almacenadas en condiciones para promover la aparición de harinosidad, sólo algunas resultaron finalmente harinosas. Esto puede indicar que hay más factores que afectan a la evolución de este desorden, aparte de la temperatura y humedad relativa en conservación, momento de la cosecha o variedad. Por otro lado parece claro que la manzanas Golden recolectadas tardíamente pueden desarrollar por sí mismas “en el árbol” un estado harinoso. Esto es particularmente interesante para los productores, cuando debido a problemas diversos se ven obligados a dejar parte de la cosecha en el árbol sin recolectar.

Los modelos de clasificación que estiman dos categorías texturales empleando los coeficientes de absorción y dispersión ERDT muestran buena discriminación a la hora de clasificar muestras de ambas variedades (85%), Las validaciones dieron resultados satisfactorios y sólo disminuyeron en una ocasión (75%), en la que el grupo de las “harinosas” mostró un comportamiento que ha de ser estudiado. Los modelos de estimación de más de dos categorías ofrecen mucha menos capacidad de clasificación: para cuatro, un 72%, y para tres, un 73%, valores no aceptables para su uso industrial.

Lo intentos de crear modelos con menos variables explicativas fueron satisfactorios, reduciendo el porcentaje de bien clasificados sólo un 2% al pasar de 7 variables a 3 variables. Este hecho será de gran utilidad a la hora de robustecer los modelos para implantarlos en un proceso industrial.

5. Conclusiones

La espectroscopía de reflectancia difusa láser con resolución temporal (ERDT) ha sido aplicada con éxito a la detección no destructiva de frutos harinosos en manzana. Los porcentajes de frutos bien clasificados por los modelos discriminantes creados son aceptables. La segregación de más de dos categorías texturales (aparte de “harinosa” y “no harinosa”) no puede ser conseguida hasta el momento, requiriendo estudios posteriores. La técnica, nueva en el área de la agroalimentación, parece interesante para la detección de otros parámetros de calidad interna.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Dra. Veerle De Smedt, de la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica) la preparación de las muestras de Cox, y a Carlos Gil, de Agro21 S.A. (Almunia de D^a Godina) las manzanas Golden y su experiencia de campo. Finalmente, a la Comunidad Europea por el proyecto FAIR CT96-1060 y a la Comunidad de Madrid por la beca FPI.

Referencias

- Barreiro, P., C. Ortiz, M. Ruiz Altisent, V. De Smedt, S. Schotte, Z. Bhanji, I. Wakeling, y P. K. Beyts. 1998. Comparison Between Sensorial and Instrumental Measurements for Mealiness Assessment in Apples. A Collaborative Test . Journal of Texture Studies 29: 509-25.
- Cubeddu R; Musolino M; Pifferi A; Taroni P; y Valentini G. 1994. Time-Resolved Reflectance: A Systematic Study for Application to the Optical Characterization of Tissues. IEEE Journal of Quantum Electronics 30(10), 2421-30
- Cubeddu, R., C. D'Andrea , A. Pifferi, P. Taroni, G. Valentini, A. Torriceli, C. Dover, D. Jonson, C. Valero, M. Ruiz-Altisent, y C. Ortiz. 1999. Non-destructive measurements of the optical properties of fruits by means of time.resolved reflectance in the wavelength range 650-1000nm. Applied Optics 40(4), 538-43
- De Smedt, V. 2000. Measurement and modelling of mealiness in apples. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 197 pp.
- Ortiz, C.; Barreiro, P.; Correa, E.; Ruiz-Altisent M.; y Riquelme , F. 1999. Non-Destructive Identification of Woolly Peaches Using Mechanical Impact Response and NIR Spectroscopy. Journal of Agricultural Engineering Research 77(2)