

Aplicación de sensores para la determinación de la calidad y el establecimiento del momento óptimo de cosecha

Diezma Iglesias, B.^{1*}; Moreda Cantero, G.¹; Ruiz-Altisent, M.¹

¹LPF-TAGRALIA, Universidad Politécnica de Madrid Campus Excelencia Internacional Moncloa, Madrid (España) *belen.diezma@upm.es

Introducción

La **determinación del momento de la recolección** es un aspecto crítico en el cultivo de frutas y hortalizas. Numerosos estudios demuestran que el estado de madurez del producto en el momento de la recolección condiciona su vida útil, su calidad organoléptica en consumo y, en su caso, su idoneidad para ser procesado. Los **índices de madurez** se basan en cambios producidos a nivel fisiológico (respiración y producción de etileno), químico (contenido en clorofilas y otros pigmentos; azúcares solubles; ácidos orgánicos; sustancias pécticas; compuestos fenólicos; compuestos aromáticos), bioquímico (síntesis de enzimas específicas del proceso de maduración) y moleculares (síntesis de ARN mensajeros que codifican enzimas de maduración).

Sin embargo, muchos de estos índices son de compleja determinación, siendo destructivos y requiriendo equipos de laboratorio costosos, lo que justifica el esfuerzo invertido desde hace años en establecer para cada especie relaciones robustas entre estos procesos y otros índices de determinación más sencilla, los llamados índices de calidad objetivos. Los índices de calidad están asociados a algunos de los procesos de maduración y a atributos sensoriales. Los principales índices de calidad son el color de fondo de la piel, el color de la pulpa, el contenido en almidón, el contenido en sólidos solubles y la firmeza. En general, son índices de fácil determinación y medibles en campo mediante equipos portátiles, sin embargo, muchos de ellos requieren la destrucción del producto, lo que condiciona el número de unidades muestreadas, comprometiendo la fiabilidad de las determinaciones dada la alta variabilidad de las variables medidas.

En las últimas décadas se ha ido avanzando hacia el desarrollo de **dispositivos no destructivos** para la estimación en campo de alguno(s) de los atributos relacionados con los índices de calidad. En este trabajo, por una parte se revisan los dispositivos sensores no destructivos, portátiles y autónomos para la determinación de parámetros de calidad en campo: **espectroscopia VIS y NIR, equipos mecánicos, equipos acústicos**; y por otra se presentan las nuevas experiencias en las que el establecimiento del momento óptimo de recolección se basa en la información recogida a lo largo del tiempo por **redes de sensores ambientales** (humedad y temperatura fundamentalmente) y de **imagen remota**.



Esquema 1. Clasificación de las tecnologías existentes para determinación no destructiva de parámetros relacionados con la fecha óptima de recolección

Técnicas y equipos

Avances en investigación

Las propiedades de reflectancia de un producto en la **región visible** (400 a 780 nm) proporciona información sobre los pigmentos presentes en el producto. El color de la piel es uno de los índices de calidad del estado de madurez de muchos productos hortofrutícolas. Profundizando en el estudio de la totalidad del espectro visible, se establecen **relaciones cuantitativas robustas** con los diferentes pigmentos presentes en el producto (antocianinas, carotenoides, clorofila).

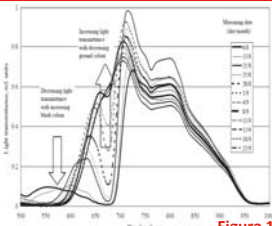


Figura 1 muestra la evolución de los patrones espectrales de una misma fruta a lo largo del tiempo, muy acusada en una de las zonas de absorción de la clorofila (680-690 nm), y en las zonas de absorción de los enlaces OH (970, 1450 y 1940 nm), lo que refleja información sobre los cambios del estado del agua y de la concentración de los carbohidratos en la fase preclimática (Fuente: Herold et al., 2005)

La radiación **NIR** cubre el espectro electromagnético entre 780 y 2500 nm. El producto es irradiado, y la radiación de respuesta, en reflectancia, interacción o transmitancia, es recogida en forma de un espectro. La propagación, y por tanto el espectro de respuesta, dependen de la **absorción por parte de determinados grupos moleculares**, así como de su entorno químico, y de las propiedades estructurales de la materia en estudio. El espectro contiene una extraordinaria complejidad y no se relaciona directa y simplemente con la absorción de un determinado compuesto, lo que hace imprescindible la aplicación de técnicas de **quimiometría** para el análisis de datos y la **definición de modelos y/o índices** relacionados con los parámetros de calidad. La reducción de costes de la tecnología ha propiciado la aparición de una amplia gama de equipos, tanto para su uso en línea como portátiles.



Figura 2, espectroscopia en uva sobre las cepas en fechas próximas a la vendimia para estimar azúcares, acidez y polifenoles. Estos trabajos, en general, han obtenido resultados aceptables en la estimación de sólidos solubles (R²=0.9), pero más discretos en la estimación de antocianinas, ácidos y polifenoles (Fuente: Blanco et al., 2009).

Equipos comerciales



Figura 3, DA-meter, equipo comercial que establece la madurez de la fruta en función de un índice basado en la diferencia en absorción entre dos longitudes de onda próximas al pico de absorción de la clorofila-a (670 y 720 nm, I_{AD}); aplicado en frutas de hueso, de pepita, kiwi, etc.

Figura 4, en viticultura está disponible comercialmente el equipo Multiplex® (FORCE-A, Francia), indicado para la determinación de los polifenoles constitutivos e inducidos y de la clorofila mediante la tecnología de fluorescencia por aplicación de estimulación múltiple para medir los distintos componentes de la piel de las bayas



Figura 5, recientemente se ha lanzado el equipo manual portátil "F-750" basado en NIR espectroscopia, para la estimación del contenido en sólidos solubles y la materia seca y la evaluación del color de la piel; equipado con GPS. Aunque todavía no hay experiencias de utilización publicadas que la avalen (www.felixinstruments.com).

Espectroscopia

Dispositivos mecánicos y acústicos

El desarrollo de técnicas mecánicas no destructivas, principalmente para la estimación de la firmeza, han proporcionado una alternativa a la penetrometría Magness-Taylor. Estas técnicas mecánicas se basan en a) la medición de variables extraídas de las curvas fuerza-deformación en ensayos cuasi-estáticos también llamadas **micro-deformación**, b) el análisis de las fuerzas que constituyen la **respuesta a impactos de baja intensidad**, c) la medición de la **respuesta acústica a un impacto de baja intensidad**. No hay oferta comercial generalizada de dispositivos basados en impacto y respuesta acústica para su uso en aplicaciones en campo.



Figura 6, Dispositivo comercial Durofel basado en el estudio de la micro-deformación (www.agrotecnologia.es/durofel-spanish.htm)

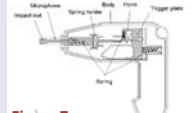


Figura 7, Dispositivo portátil para estimación de firmeza a partir de la respuesta acústica del producto, esquema con localización del émbolo impactador y del micrófono (Fuente: Sugiyama et al., 2005)

Combinación de sensores

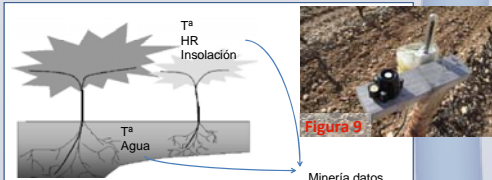
La complejidad de la determinación del estado de madurez en los frutos ha conducido a formular **índices compuestos** y ha dirigido el desarrollo de algunos equipos con la vocación de integrar distintos parámetros de calidad. "Glove" (Figura 8), dispositivo instrumentado con sensores miniaturizados para obtener información sobre la calidad de las frutas:

- Espectrofotómetro: "Brix, color
- Sensor acústico: firmeza
- Potenciómetro: calibre

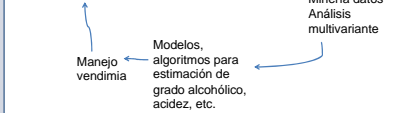


Redes de sensores inalámbricos

En una red de sensores inalámbrica (WSN), los nodos (Figura 9) se distribuyen en la parcela en estudio y cada uno es responsable de aportar los datos de las variables que se supervisan y enviar estos datos a través de uno o más nodos sumideros, que se ocupan de la transmisión de los datos al usuario final.



En los últimos años las redes de sensores inalámbricos, las tecnologías de la información y la comunicación y las técnicas de minería de datos y análisis multivariante se han explotado en cultivos como la viña para establecer el **momento óptimo de vendimia**.



Imágenes en detección remota

Como en apartados anteriores, es la viña el cultivo para el que mayores expectativas han despertado las **tecnologías de teledetección** para establecer relaciones con los parámetros de calidad vinculados al momento óptimo de cosecha.



Figura 10, se han establecido relaciones entre las imágenes multispectrales aéreas (450 nm, 550 nm, 650 n, y 770 nm) adquiridas con resoluciones espaciales equivalentes a la distancia entre líneas, con las propiedades de las bayas relativas a fenoles totales y color de piel (Lamb et al., 2004)

