

Aplicación de sensores no destructivos para mejorar la satisfacción de los consumidores de frutas frescas y el aumento de su consumo

C. H. Crisosto, G. M. Crisosto y J. R. Bermejo

Department of Plant Sciences
University of California, Davis
One Shields Ave.
Davis, CA 95616 U.S.A.

chcrisosto@ucdavis.edu

Palabras clave: conceptos de fisiología de la fruta, calidad de consumo, degustaciones en tienda, maduración de consumo, materia seca, color de la pulpa.

Resumen

Las frutas son un importante componente de nuestra dieta y el consumo de frutas se encuentra asociado a la reducción o retraso en la aparición de enfermedades graves como son el Alzheimer, el cáncer y la obesidad. Aunque el consumo de fruta es beneficioso para la salud humana, su consumo no aumenta y, en ciertos casos, incluso ha disminuido. Por este motivo, proponemos hacer aumentar el consumo de frutas frescas mediante la determinación de la fecha ideal de su recolección, el uso de programas de maduración y de la etapa de desarrollo de la fruta, y aplicar luego un índice de calidad mínimo (ICM) basado en atributos de calidad del sabor, con el objeto todo ello de asegurar al consumidor una experiencia gustativa aceptable. Debido a los recientes avances en las nuevas tecnologías de sensores no destructivos, existe un gran interés en su aplicación (ya sea como unidades manuales y/o de línea) para segregar la fruta de acuerdo a su aceptabilidad potencial por parte del consumidor. En el presente estudio analizaremos el uso de sensores no destructivos para la separación de fruta en función de parámetros tales como la firmeza y la pigmentación, que se utilizarán como índices de su estado de madurez y maduración. Se proponen ICM basados en el contenido de sólidos solubles a la madurez de consumo (CSSM) para cerezas, ciruelas, nectarinas y melocotones, y de materia seca (MS) para kiwis y mangos. Una determinación precisa de la fecha de recolección reducirá las pérdidas y asegurará que la mayor parte de la producción sea de una categoría aceptable. En algunos casos, la segregación en grupos con atributos específicos de calidad del sabor podría asegurar un estímulo que justifique el coste adicional del uso de una nueva tecnología de sensores no destructiva; sin embargo, se debería comprobar su rendimiento en condiciones comerciales antes de iniciar su comercialización.

El presente artículo tiene como objeto explicar los conceptos fisiológicos de la poscosecha y explorar la posible aplicación de sensores no destructivos en las operaciones comerciales de poscosecha.

¿Qué entendemos por madurez fisiológica?

En fisiología de la poscosecha, la madurez fisiológica se define como “el momento en que un determinado producto alcanza un estado de desarrollo suficiente como para que, después de cosechado (separado de la planta) y manipulado en la poscosecha, madure por sí mismo hasta un grado que sea por lo menos mínimamente aceptable para el consumidor” con una vida de mercado aceptable. Por otra parte, la maduración es el estado del desarrollo conducente a la obtención de la madurez fisiológica u hortícola, y acontece entre el desarrollo final de la fruta y su madurez final, la cual viene indicada por el inicio de la maduración y la senescencia (Wataba et al., 1984). La fruta inmadura puede madurar separada del árbol, tal vez con una aplicación de etileno exógeno, pero su calidad final será entonces mala. La fruta que haya alcanzado la madurez fisiológica separada del árbol tendrá, sin embargo, una buena calidad cuando madure. Los mangos, kiwis, nectarinas, duraznos (melocotones) y ciruelas se cosechan habitualmente en estado maduro-firme (madurez de cosecha), para pasar a continuación durante el proceso de maduración por cambios fisicoquímicos sustanciales que culminarán en una fruta madura de consumo.

¿Qué entendemos por madurez hortícola?

La madurez hortícola es la etapa del desarrollo en que una planta, o parte de una planta (fruta), adquiere los prerequisites necesarios para su uso por parte del consumidor con un fin determinado (Reid, 2002). Un determinado producto puede alcanzar la madurez hortícola en cualquier estado de su desarrollo. Por ejemplo, los brotes o los germinados alcanzan la madurez hortícola muy al comienzo de su desarrollo, mientras que muchos tejidos vegetales, flores, frutos y órganos de almacenamiento subterráneo, alcanzan la madurez hortícola en un estado de desarrollo medio o tardío (Kader, 1999). Las aceitunas u olivas que se consumen en España como encurtido de olivas verdes, se cosechan cuando están inmaduras (antes de la madurez fisiológica). Por el contrario, las olivas negras encurtidas al estilo de California se cosechan en el momento de su madurez fisiológica, cuando el color de su piel cambia de verde a pálido o pajizo. Conforme el color de las olivas se oscurece y la coloración rojiza se extiende penetrando en su pulpa, este fruto deja de ser adecuado para su encurtido como olivas negras maduras al estilo de California. Por otro lado, las olivas se cosechan una vez pasado el punto de madurez fisiológica para su procesado como olivas y/o aceite de oliva al estilo griego.

¿Por qué son necesarios los índices de madurez?

La definición de la madurez como aquel estado del desarrollo que proporciona un mínimo de vida comercial y/o una calidad aceptable para el consumidor, implica la existencia de puntos medibles en el desarrollo del producto y la necesidad de desarrollar técnicas que midan la madurez. El índice de madurez para un determinado producto es una medida o medidas que pueden utilizarse para determinar si un producto en particular ha alcanzado su madurez hortícola. Dichos índices son importantes para la regulación del comercio, la estrategia de comercialización y el uso eficiente de recursos y mano de obra.

¿Qué características debe presentar un índice de madurez?

Las medidas para determinar la madurez que productores, manipuladores y personal de control de calidad deben realizar han de ser simples, confiables y de fácil obtención en el campo o en el punto de inspección, y deben requerir igualmente de un equipamiento de bajo coste. Es preferible que el índice sea objetivo (una medida), en lugar de subjetivo (una evaluación) e, idealmente, no debe ser destructivo. El índice de madurez debe cumplir de forma consistente con dos requerimientos para su uso por todos los productores, distritos y años: debe asegurar, primero, un mínimo aceptable de calidad de consumo y, segundo, un cierto periodo de vida en almacenamiento.

¿Cómo se establece un índice de madurez?

El establecimiento de un índice de madurez implica la determinación de cambios fisicoquímicos consistentes: se ha de llevar a cabo la monitorización del producto a lo largo de su desarrollo para encontrar medidas que muestren una fuerte correlación entre la madurez y el rendimiento poscosecha. Durante el periodo de rápido aumento de tamaño que acontece conforme la fruta se acerca a la madurez, los cambios que se producen en el color de la piel y la pulpa, en el estado de ablandamiento de la pulpa y en su sabor, se hacen particularmente evidentes. Algunas de las características más estudiadas son:

- 1. Tamaño y forma.** El que la fruta alcance un determinado tamaño puede ser utilizado como un posible índice de madurez; sin embargo, no puede utilizarse por sí solo dado que el tamaño de cualquier variedad de fruta puede verse influido por la carga de frutos del árbol, las condiciones climáticas y las prácticas de cultivo. La forma de la fruta y/o el llenado de los cachetes pueden ser indicativos de su madurez. En el caso de la fruta de hueso y de los mangos, se considera que ésta ha alcanzado la madurez cuando los hombros de la fruta y la sutura se encuentran bien desarrollados y llenos.
- 2. Firmeza de la pulpa.** La firmeza de la pulpa disminuye conforme la fruta alcanza el estado de madurez y maduración, ya sea en el árbol o separada del mismo. Por lo general, los duraznos que presentan una firmeza de entre 4,5 y 5,4 kg (10 y 12 lb) (punta de 8 mm) en los cachetes en el momento de la cosecha, madurarán después de cosechados y alcanzarán una mejor calidad que aquellos con una firmeza de entre 4,5 y 8,1 kg (10 y 18 lb). Las medidas de firmeza típicas para los tiempos mínimos de madurez son 4-4,5 kg (9-10 lb), 4,9-5,4 kg (11-12 lb) o 5,8-6,3 kg (13-14 lb). Los datos de los que se dispone, no obstante, indican que la firmeza de la pulpa por sí sola no es un índice de madurez mínima satisfactorio, ya que la firmeza de la pulpa, entre las variedades y dentro de una variedad dada, varía con el tamaño de la fruta, las condiciones climáticas y las prácticas de cultivo. En California y Chile se sugiere el uso de la firmeza de la pulpa como índice de madurez máxima a fin de determinar el momento límite en que puede cosecharse la fruta pudiendo aún tolerar el abuso físico y asegurarse de forma satisfactoria las operaciones de transporte, distribución y comercialización.
- 3. Contenido de sólidos solubles.** El contenido de sólidos solubles o CSS aumenta conforme la fruta alcanza la madurez y su uso como índice de madurez se encuentra limitado por las variaciones existentes entre las distintas variedades, áreas de producción y temporadas. Así, por ejemplo, cuando las variedades de ciruela de color oscuro

obtenidas en la Universidad de California en los años sesenta fueron introducidas en la industria, se recomendó el uso del CSS como índice de madurez satisfactorio. El Comité de la Ciruela (*Plum Committee*) lo utilizó durante un breve periodo de tiempo para las variedades ‘Laroda’, ‘Queen Ann’ y ‘Nubiana’. Poco tiempo después, algunos productores se quejaron de que no podían cumplir con este índice de madurez mínimo y se abandonó su uso.

4. **Acidez titulable.** La fruta de hueso pierde acidez titulable (AT) durante la madurez y la maduración. Esta característica de la madurez también se ve afectada por el tipo de cultivar y la variabilidad estacional, y su medida es más complicada que la del CSS. La proporción CSS/AT se encuentra mejor relacionada con la calidad de consumo que la AT o el CSS por sí solos; no obstante, esta proporción continúa siendo variable con los años.
5. **Color.** El color de la fruta se encuentra determinado por la variedad de pigmentos presentes en el tejido de la piel y la pulpa. Conforme la fruta alcanza la madurez y madura, el color cambia de verde a rojo o amarillo. Dado que el desarrollo del color rojo en las nectarinas y duraznos depende de su exposición a la luz, la posición de la fruta en el árbol influye en el grado de coloración final. Los cambios en el color de fondo y de la pulpa de la fruta no se ven afectados por la luz solar y, por tanto, constituyen índices de madurez más confiables. En California, se han llevado a cabo extensos estudios sobre el color de fondo de los duraznos y las nectarinas, lo que ha llevado al desarrollo de chips de color con los que determinar su estado de madurez. La influencia del color de fondo como índice de madurez de la calidad poscosecha ha sido estudiado en profundidad en los cultivares de durazno de pulpa adherida al hueso (tipo *clingstone*), y en duraznos y nectarinas frescas. Los investigadores han demostrado que la fruta que está más madura posee un color de la piel más amarillo, mejor sabor, más color en la pulpa (algo menos verde), una pulpa más blanda, un mayor contenido de sólidos solubles y una menor acidez titulable que la fruta menos madura.

Algunos de estos indicadores (índices de madurez) han sido seleccionados por ensayos de almacenamiento y evaluaciones sensoriales con el objeto de determinar cuáles son los que se correlacionan de forma consistente y confiable con la calidad del producto cosechado para todas las estaciones, cultivares y localidades. En la industria de la fruta de hueso de California, el Acuerdo del Árbol Frutícola de California (*California Tree Fruit Agreement* o CTFA), que implementó el reglamento de comercialización a federal, publicó anualmente los requerimientos mínimos de madurez para más de 200 cultivares de durazno y nectarina basados en el color de fondo exterior (es decir, la desaparición del color verde y la formación de color amarillo). En el caso de las ciruelas, el uso del color general de la piel para determinar su estado de madurez estuvo más extendido. Así, la CTFA publicaba todos los años los requerimientos mínimos de madurez para más de 100 cultivares de ciruelas basándose en la firmeza y el color de su superficie, y diseñó tablas de color que se encontraban disponibles en el CTFA. En el campo, sin embargo, es el productor el responsable de decidir si un cultivo ha alcanzado o no la madurez mínima adecuada para su cosecha. En los últimos años, la introducción en California de una serie de variedades nuevas en las que su intensa coloración rojiza enmascara el color interno de la fruta están limitando el uso del color de fondo como índice de madurez mínimo. En estos casos, se puede recurrir a

sensores no destructivos del color de la pulpa como herramienta para crear un índice de madurez mínimo que asegure una calidad óptima de la fruta, al igual que se recomendó e implementó para los duraznos de pulpa adherida al hueso (McGlone y Kawano, 1998).

Durante las dos últimas décadas, se ha colectado una gran cantidad de información sobre la madurez y la maduración de la fruta, el desarrollo de índices de maduración, de ensayos de almacenamiento y paneles de degustación de duraznos, ciruelas y nectarinas. A pesar de ello, sigue siendo necesario realizar estudios centrados en la comprensión de los índices de madurez y del proceso de maduración de los nuevos cultivares de duraznos y nectarinas de color rojo pleno y de ciruela de color negro pleno. La determinación no destructiva del CSS, MS, color en fresco, contenido de azúcar y ácidos por técnicas de infrarrojo cercano (NIRs, por sus siglas en inglés), resonancia magnética (MR, por sus siglas en inglés) y transmitancia lumínica (LT, por sus siglas en inglés) está siendo estudiada y validada, y podría estar disponible en un futuro cercano. De este modo, las tradicionales mediciones destructivas de la fruta podrían ser reemplazadas por mediciones no destructivas.

De la calidad de la fruta a la calidad de consumo

La calidad de la fruta es un concepto que engloba propiedades sensoriales (apariencia, textura, gusto, aroma y sabor), valores nutricionales, propiedades mecánicas, inocuidad y defectos. En conjunto, estos atributos dotan a la fruta de grado de excelencia y valor económico. Todas las personas que conforman la cadena de producción y comercialización de la fruta, desde el productor al consumidor, desean obtener una fruta que no tenga defecto alguno o bien que estos sean escasos. Sin embargo, en cada paso de la cadena el término “calidad” adquiere un significado distinto y la importancia económica de los distintos atributos de la calidad varía considerablemente. Por ejemplo, al productor le interesa obtener un alto rendimiento, piezas de fruta de gran tamaño y que la fruta sea muy resistente a las enfermedades, así como reducir el número de recolecciones. La definición de “calidad” para envasadores, embarcadores, distribuidores y mayoristas se basa principalmente en la firmeza de la pulpa, la cual se considera un buen indicador de la vida potencial en almacenamiento y de mercado de la fruta. Por lo general, la fruta madura y se deteriora rápidamente a temperatura ambiental y es necesario su almacenamiento en frío para ralentizar estos procesos, en especial en el caso de algunos cultivares y/o situaciones de comercialización de larga distancia. En el caso de los minoristas, el color rojo, el tamaño y la firmeza han sido siempre los elementos más importantes de la calidad de la fruta, ya que ellos necesitan que la fruta sea atractiva para el consumidor, que resista la manipulación y tenga una vida larga en los mostradores. Desde el punto de vista del consumidor, la calidad de los duraznos en líneas generales ha disminuido, debido a que principalmente se los cosecha antes de alcanzar su madurez, a los daños causados por el frío y a que no maduran antes de su consumo, lo que resulta en la insatisfacción de los consumidores. Más aún, la calidad en sí misma se encuentra mal definida, ya que los únicos parámetros que se toman en consideración son el tamaño de la fruta y el color de su piel. Otras características como la firmeza de la pulpa, el contenido de azúcares, la acidez y el aroma, que el consumidor percibe como parte de la calidad de la fruta, son totalmente ignorados por los productores y demás personas de la cadena de producción. Al productor, equiparando la calidad de la fruta casi exclusivamente con el tamaño de la misma, no considera que sean estos caracteres los primeros que percibe el consumidor y presenta el tamaño de la fruta como la primera y única opción. Tan pronto como el consumidor se da cuenta de que la fruta, incluso aunque sea de buen

tamaño y tenga un color atractivo, carece de sabor, tiene un bajo contenido en azúcar, apenas aroma y perece rápidamente, redirige su interés hacia otro tipo de frutas (Crisosto & Costa, 2008). Por consiguiente, es imperativo que al productor y demás sujetos de la cadena de distribución, dirijan su atención hacia la calidad de la fruta entendida desde la perspectiva del consumidor, a fin de ganarse nuevamente su confianza (calidad de consumo). Durante la última década se han realizado varios estudios sensoriales, incluyendo pruebas de degustación en tiendas, en distintos productos a fin de comprender las preferencias y aceptabilidad del consumidor, y seleccionar posibles candidatos a índices de calidad (Crisosto & Crisosto, 2001 y 2005; Crisosto et al., 2003 y 2012; Delgado et al., 2013). En los últimos años, existe una creciente apreciación por que la calidad de consumo de la fruta incluya igualmente sus propiedades nutricionales (por ejemplo, vitaminas, minerales y fibra dietética) y beneficios para la salud (por ejemplo, antioxidantes), los cuales se están convirtiendo en factores relevantes de las preferencias de consumo. Estudios tanto experimentales, como epidemiológicos y clínicos proporcionan evidencias de que la dieta posee un importante papel en la prevención de enfermedades crónicas degenerativas como son los tumores, las enfermedades cardiovasculares y la arteriosclerosis (Vicente et al., 2011). El consumo de fruta y vegetales frescos ejerce un papel protector contra el desarrollo de estas patologías.

¿Qué es la maduración?

La maduración es el conjunto de procesos que acontecen entre las últimas fases del desarrollo y las primeras de la senescencia, que tienen como resultado las características estéticas y comestibles de la calidad que se manifiestan por cambios en la composición, color, textura u otras características sensoriales y gustativas. La maduración -suceda o no en el árbol-, implica cambios que transforman a la fruta madura en fruta lista para su consumo. Los cambios asociados con la maduración incluyen la pérdida de color verde y el desarrollo de color amarillo, rojo o cualquier otro que sea característico de la variedad. Conforme madura, la fruta se ablanda, su acidez disminuye y se generan los distintos compuestos volátiles que le dan su aroma característico. Entre los cambios fisiológicos asociados a la maduración se encuentran el aumento de las tasas de respiración y producción de etileno. Una vez la fruta ha madurado, comenzará la senescencia: los cambios fisicoquímicos proseguirán una vez alcanzado el óptimo de maduración, incluyéndose la pérdida de firmeza y del sabor deseado, hasta llegar al colapso completo de la fruta. El estudio que hemos realizado en cerezas, kiwis, árboles frutales, mangos, uvas, higos y arándanos demuestra los beneficios de la maduración -ya sea en el árbol o separada del mismo-, en la aceptación final de la fruta fresca. En la mayoría de los casos, la aceptación del consumidor se duplica o triplica como consecuencia de la maduración.

Aplicación de sensores no destructivos

1. Firmeza y daño de la fruta. El punteado mecánico puede afectar a un número de medidas destructivas y no destructivas de la firmeza en las variedades de duraznos de pulpa adherida al hueso ‘Andross’, ‘Carson’ y ‘Ross’ (Crisosto et al., 2007). Durante dos años, el porcentaje de fruta de las variedades ‘Andross’, ‘Carson’ y ‘Ross’ con daño por punteado aumentó bruscamente cuando los valores de firmeza, medidos con un sensor no destructivo Sinclair, caían por debajo de 7,0 en el índice de firmeza Sinclair (IFS) y cuando la lectura del penetrómetro destructivo caía por debajo de 17 (IFS). Incluso con una baja correlación entre las mediciones destructivas y no destructivas de la firmeza, las medidas no destructivas se mostraron más estrechamente relacionadas con el daño por punteado. Estos resultados preliminares incitan a una nueva investigación que mejore dicha relación, porque un sistema no destructivo automático podría

proporcionar a los procesadores la opción de segregar a los duraznos susceptibles de punteado antes del procesado (Valero et al., 2006). Este tipo de información, medida en el área de recepción del producto, resulta de utilidad para una clasificación subjetiva y/o para predecir potenciales problemas de punteado durante el procesado.

2. Cambios en la maduración y sensores no destructivos. La firmeza de los duraznos y los cambios de color de la pulpa son formas confiables de monitorizar su ablandamiento, que pueden ser utilizados para predecir los daños por magulladuras y los puntos de transferencia a utilizar durante la maduración (Slaughter et al., 2006). Los protocolos de maduración acostumbran a hacer uso de un penetrómetro para medir la firmeza de la fruta y monitorizar su maduración. Hasta hace poco tiempo no se comercializaban métodos no destructivos para la medición de la firmeza de la fruta. En 2006, utilizamos el analizador de firmeza Sinclair no destructivo iQTM para monitorizar la maduración y predecir la susceptibilidad de la fruta de hueso a las magulladuras. Este estudio fue llevado a cabo en cuatro cultivares de durazno, tres de ciruela y cinco de nectarina a lo largo de dos temporadas. Las correlaciones entre las mediciones destructivas y no destructivas de la firmeza fueron significativas ($p = 0.0001$), si bien demasiado bajas para su aplicación comercial, ya que variaron entre $R^2 = 0,60$ y $0,71$ dependiendo del tipo de fruta. Recurriendo a una aproximación diferente, se caracterizó la relación entre las mediciones destructivas y no destructivas de la firmeza como método de segregación de fruta en función de su estado de maduración. A tal efecto, se realizó un análisis discriminante que rindió en las pruebas de valoración una concordancia del 66 al 90 % en la clasificación del estado de maduración. El análisis discriminante segregó de forma consistente a la fruta medida por métodos no destructivos en importantes clases comerciales (“lista para su consumo”, “lista para la venta”, “madura e inmadura”). Estas clases representan estados claves de la fisiología de la maduración con diferentes probabilidades de daño por magulladuras y aceptación por parte del consumidor. Este estudio preliminar hace notar la importancia de relacionar directamente las mediciones no destructivas con estados comerciales fisiológicos de importancia, en lugar de correlacionarlas con los valores estándares actuales del penetrómetro (Valero et al., 2006).

Estudios recientes en varios cultivares de mangos, duraznos y nectarinas monitorizaron con técnicas no destructivas cambios en el color de la pulpa que se correlacionaban muy bien con el ablandamiento durante la maduración de la fruta, ya sea en el árbol o separada del mismo. Demostramos así la capacidad de medir de forma no destructiva el color de la pulpa en mangos y en árboles frutales antes y después de la cosecha. Dado que el color de la pulpa es el mejor indicador del estado de maduración fisiológica del mango, el uso de la tecnología no destructiva de infrarrojo cercano y el DA-meter (Turoni, SRL, Forli, Italy), nos permitió reducir en la población de fruta la variabilidad de la maduración que interfiere con la comprensión del papel de la madurez en la calidad poscosecha. Conforme progresa nuestro estudio se demuestran los beneficios de utilizar el DA-metro como herramienta no destructiva de ayuda para la determinación de la fecha ideal de recolección y la selección de mangos en estado de madurez a la cosecha y de rojo pleno en la fruta de árboles hortofrutícolas, a fin de reducir las pérdidas durante la vida poscosecha y de comercialización. Esperamos que estos sensores no destructivos sean utilizados de forma confiable para segregar a los mangos de acuerdo con la madurez fisiológica de cosecha y clarificar el papel del proceso de maduración en la calidad de los mangos, las limitaciones de la vida poscosecha (daño por frío) y las necesidades de almacenamiento. Además de la presente información, describiremos la dinámica de los cambios de maduración en el huerto, información que puede resultar de ayuda para el manejo del cultivo.

3. Contenido de sólidos solubles (CSS), materia seca (MS) y aceptación de la fruta por parte del consumidor. El contenido de sólidos solubles cuando la fruta alcanza el estado de madurez para su consumo (CSSM) es considerado como una herramienta precisa para predecir la aceptación de muchos productos hortofrutícolas por parte del consumidor. Sin embargo, debido a que tanto los kiwis como los mangos presentan altas concentraciones de almidón antes de la maduración, el contenido de sólidos solubles en estas frutas no es un índice exacto ni confiable (Brecht y Yahia, 2009; Crisosto et al., 2012; Singh et al., 2013). El almidón que se acumuló durante el desarrollo de la fruta es hidrolizado por las amilasas en azúcares tales como la fructosa, la glucosa y la sucrosa, que serán los principales contribuyentes del contenido de sólidos solubles una vez la fruta haya madurado. El almidón, los azúcares solubles, los ácidos orgánicos, pectinas, minerales, etc., contribuyen a la materia seca, cuya medida permanece constante durante la manipulación poscosecha. Más aún, la materia seca está directamente relacionada tanto con el CSSM como con la calidad de consumo estimada de los mangos maduros. Por consiguiente, se puede utilizar la materia seca como índice de madurez de consumo (IMC) con el objeto de regular la calidad de los mangos, ya que predice de forma exacta su aceptación por parte del consumidor. Basándonos en nuestro estudio sensorial realizado en diferentes cultivares de mangos, proponemos un índice de madurez mínima de consumo que esté basado en la materia seca de los cultivares de mango. Como continuación de nuestro estudio sensorial y de otros estudios de sensores no destructivos (Delwiche et al., 2008; Schmilovitch et al., 2000; Subery et al., 2013), hemos ensayado sensores no destructivos de infrarrojo cercano (NIR) en línea y manuales para segregar a los mangos en función de su materia seca. En el caso de los sensores manuales, hemos realizado pruebas con Nirvana y F-750 (*Felix Instruments, Applied Food Science, WA*). Nuestros modelos, entre los valores del prototipo NIR F-750 y de materia seca, alcanzaron un valor de $R^2 = 0,50$ a $0,70$ que consideramos bajo para su aplicación comercial (Rodríguez-Bermejo, comunicación personal, octubre 2014). En la actualidad, *Felix Instruments* está llevando a cabo modificaciones en sus nuevos prototipos para mejorar esta relación. La segregación en línea utilizando el sistema *Compac NIR* fue más eficiente, alcanzando un $R^2 = 0,80$.

Recomendamos encarecidamente que se profundice en la comprensión de los caracteres con los que se trabaja y se haga una evaluación adicional de este tipo de sensores no destructivos en condiciones comerciales antes de pasar a su comercialización.

Referencias

- Brecht, J.K. and Yahia, E.M. 2009. Postharvest physiology. *In*: Litz, R.E. (Ed.) The Mango: Botany, Production and Uses, 2nd ed. CAB International.
- Crisosto, C.H. and Costa, G. 2008. Preharvest factors affecting peach quality. Chapter 20, pp. 536-549. *In*: Layne and Bassi (eds.) The Peach: Botany, Production and Uses. CAB International.
- Crisosto, C.H. and Crisosto, G. 2005. Relationship between ripe soluble solids concentration (RSSC) and consumer acceptance of high and low acid melting flesh peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) cultivars. *Postharvest Biol. Technol.* 38:239-246.

Crisosto, C.H. and Crisosto, G.M. 2001. Understanding consumer acceptance of early harvested 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biol. Technol.* 22:205-213.

Crisosto, C.H., Crisosto, G.M. and Metheney, P. 2003. Consumer acceptance of 'Brooks' and 'Bing' cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biol. Technol.* 28:159-167.

Crisosto, G., Hasey, J.K., Zegbe, J. and Crisosto, C.H. 2012. New quality index based on dry matter and acidity proposed for 'Hayward' kiwifruit. *California Agriculture*, pp. 70-75.

Crisosto, C.H., Valero, C. and Slaughter, D.C. 2007. Predicting pitting damage during processing in Californian clingstone peaches using color and firmness measurements. *Am. Soc. Agric. Biol. Engineers* 23:189-194.

Delgado, C., Crisosto, G.M., Hildegarte, H. and Crisosto, C.H. 2013. Determining the primary drivers of liking to predict consumers' acceptance of fresh nectarines and peaches. *J. Food Sci.* 78:S605-S614.

Delwiche, S.R., Mekwatanakarn, W. and Wang, C.Y. 2008. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. *HortTechnology* 18:410-416.

Kader, A.A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Hortic.* 485:203-208.

McGlone, A. and Kawano, S. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 13:131-141.

Reid, M.S. 2002. Maturation and maturity indices. *In*: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 3rd ed. University of California, Oakland, California, pp. 55-62.

Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, H. and Fuchs, Y. 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 19:245-252.

Slaughter, D.C., Crisosto, C.H., Hasey, J.K. and Thompson, J.F. 2006. Comparison of instrumental and manual inspection of clingstone peaches. *Am. Soc. Agric. Biol. Engineers*. 22:883-889.

Singh, Z., Singh, R.K., Sane, V. and Nath, P. 2013. Mango-postharvest biology and technology. *Crit. Rev. Plant Sci.* 32:217-236.

Subedy, P., Walsh, K. and Purdy, P. 2013. Determination of optimum maturity stages of mangoes using fruit spectral signatures. 2013. *Acta Hortic.* 992:521-527.

Valero, C., Crisosto, C.H. and Slaughter, D. 2006. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. *Postharvest Biol. Technol.* 44:248-253.

Vicente, A.R., Manganaris, G., Cisneros-Zevallos, L. and Crisosto, C.H. 2011. *Prunus*. Chapter

13. *In:* Terry (ed.) Health-Promoting Properties of Fruits and Vegetables. pp.238-260.

Watada, A.E., Hener, R.C., Kader, A.A., Romani, R.J. and Staby, G.L. 1984. Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. HortScience 19:20-21.