

TP02 - Medición no destructiva del índice de madurez en mango 'Osteen' usando técnicas de espectroscopía de infrarrojo cercano

Cortés, V.¹; Ortiz, C.²; Aleixos, N.³; Blasco, J.⁴; Cubero, S.⁴; Talens, P.¹

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (Spain), viccorl3@doctor.upv.es, pautalens@tal.upv.es

²Departamento de ingeniería rural y agroalimentaria. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (Spain), cortiz@dmta.upv.es

³Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al Ser Humano. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (Spain), naleixos@labdesign.i3bh.es

⁴Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera km. 4.5, 46113, Moncada, Valencia (Spain), jblasco.ivia@gmail.com, cubero_ser@gva.es

Resumen

El mango es una fruta tropical de alto valor añadido, cuyas previsiones futuras apuntan a una expansión de mercado. En los últimos años la industria ha despertado un interés creciente por determinar su calidad mediante técnicas no destructivas. En esta investigación, 140 mangos de la variedad 'Osteen' recolectados en un cultivo comercial en Málaga (España) con aproximadamente 8 °Brix, se distribuyeron en siete lotes y se almacenaron en condiciones de humedad y temperatura controladas. A distintos tiempos de almacenamiento, la fruta seleccionada se evaluó mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) en modo de reflectancia mediante dos detectores, uno sensible en el rango VIS-NIR (595-1100 nm) y otro sensible en el rango NIR (888-1795 nm). Se analizó mediante métodos tradicionales destructivos su firmeza, acidez titulable y contenido en sólidos solubles, y se estableció un índice de madurez (RPI, Ripening Index) en base a dichos parámetros. Se desarrollaron dos modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) para establecer la relación entre los espectros y el RPI. Con el 75% de las muestras se estableció un conjunto de calibración, obteniéndose un R^2 en el modelo de 0,922 con el detector VIS-NIR y de 0,931 con el detector NIR. Con el 25% restante se validó el modelo, obteniéndose buenos resultados en la predicción de la madurez de las muestras ($R^2=0,853$ para VIS-NIR y $R^2= 0.886$ para NIR). Los resultados son prometedores para la posible integración de esta tecnología en líneas de confección de mango como un sistema capaz de garantizar la calidad del producto.

Palabras clave: calidad, poscosecha, fruta, NIR.

Non-destructive measurement of ripening index of mango 'Osteen' using NIR spectroscopy techniques

Abstract

Mango is a tropical fruit with high added value, whose future projections indicate to an expanding market. In the last few years, the industry has attracted increasing interest in determining its quality through non-destructive techniques. In this research, a total of 140 units of mango 'Osteen' variety collected from a commercial orchard in Málaga (Spain) with approximately 8 °Brix, were divided into seven lots, and stored under controlled conditions of temperature and humidity. At different storage intervals, the selected fruit was assessed by near infrared spectroscopy (NIRS) in reflectance mode using two detectors, one with sensitivity in VIS-NIR range (595-1100 nm) and another with sensitivity in NIR range (888-1795 nm). Firmness, titratable acidity and soluble solids content were analyzed using traditional destructive methods, and ripening index (RPI) was established based on these parameters. Two regression models were developed by partial least squares (PLS) to establish the relationship between the spectra and the RPI. A 75% of the samples formed a set of calibration, obtaining a R^2 0.922 with the VIS-NIR detector and 0.931 with the NIR detector. With the remaining 25% the model was validated with good results in the prediction of maturity of the samples ($R^2=0.853$ for VIS/NIR and $R^2=0.886$ for NIR). The results

are promising for the possible integration of this technology in mango electronic sorters as a system to ensure product quality.

Keywords: quality, postharvest, fruit, NIR.

Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical con una fuerte demanda y alto valor añadido en el mercado mundial (Schmilovitch *et al.*, 2000), por lo que garantizar su calidad en el suministro es de gran importancia. Se produce en alrededor de 90 países en el mundo, siendo uno de ellos España, que actualmente dedica una superficie total de producción de 3281 ha. Para los próximos años se espera un descenso de la exportación de Brasil, uno de los principales competidores con el mango español así como un aumento de producción en España debido a la excelente adaptación climática que está teniendo en las zonas de Andalucía y Canarias.

Actualmente, los consumidores demandan productos de alta calidad y basan sus decisiones de compra en algunas propiedades externas como firmeza, color, brillo o aroma, que asocian con el grado de madurez. Por ello, recolectar la fruta con un grado apropiado de maduración es muy importante. Generalmente, el mango se recolecta en fase verde pero fisiológicamente maduro, lo que le permite alcanzar una calidad de consumo superior que aquellos recolectados inmaduros y que no llegan a alcanzar su madurez óptima. En la actualidad, la determinación de la madurez se lleva normalmente a cabo midiendo algunas propiedades internas como firmeza, acidez, contenido en azúcares o en carotenoides. Estas medidas se realizan mediante laboriosas técnicas destructivas que requieren personal capacitado y convierten la fruta en inutilizable. Un avance importante en este sentido es la automatización de los procesos de inspección empleando sistemas no destructivos. Entre las técnicas más estudiadas se encuentra la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS), que permite determinar constituyentes químicos o atributos de calidad de productos agrícolas (Nicolai *et al.*, 2007). Este método no destructivo se ha utilizado, por ejemplo, para evaluar la calidad de frutas frescas como cítricos (Magwaza *et al.*, 2012), mango (Theanjumol *et al.*, 2013; Watanawan *et al.*, 2014), pera (Machado *et al.*, 2012), manzana (Jha y Garg, 2010) o banana (Jaiswal *et al.*, 2012). Los análisis de los espectros adquiridos en el infrarrojo cercano (NIR) proporcionan determinaciones cualitativas de compuestos tales como azúcares, agua y clorofila, entre otros.

El objetivo del presente estudio fue evaluar de forma no destructiva el índice de madurez del mango 'Osteen' usando técnicas espectrométricas en el rango VIS-NIR. Para ello, se evaluaron los espectros VIS-NIR de los mangos y se establecieron relaciones entre éstos y el índice de madurez (RPI) de las frutas.

Material y Métodos

Material vegetal

Un total de 140 mangos (*Mangifera indica* L., cv 'Osteen') cultivados en la provincia de Málaga (España), se recolectaron manualmente en base a un tamaño y color uniforme, libres de manchas e infecciones externas.

Todos los mangos se lavaron con una solución jabonosa preparada con dos gotas de lavavajillas por litro de agua y se secaron con papel absorbente para eliminar

completamente el agua de su superficie. Más tarde se numeraron individualmente y se dividieron de forma aleatoria en siete lotes de 20 mangos cada uno (A, B, C, D, E, F y G). Se almacenaron todos los lotes durante 24 horas en una cámara frigorífica (11.9 ± 0.4 °C y $84.3 \pm 1.7\%$ de humedad relativa) hasta comenzar los análisis espectrofotométricos. A partir de esas 24 horas se analizaron los frutos del lote A, y los lotes restantes se colocaron en una cámara de almacenamiento a 18.0 ± 2.1 °C y $67.6 \pm 3.3\%$ de humedad relativa y se analizaron en intervalos de 48 horas. De cada lote se analizaron primero sus propiedades espectroscópicas en la región VIS-NIR y después sus propiedades mecánicas mediante un ensayo de punción y su composición interna (°Brix y acidez).

Instrumentación NIR

Los espectros se midieron en modo reflexión utilizando un espectrómetro multicanal (AVS-DESKTOP-USB2, Avantes BV, The Netherlands) equipado con dos detectores, uno sensible en la región VIS-NIR entre 595 y 1100 nm y otro en la región NIR entre 888 y 1795 nm (AvaSpec-ULS2048-USB2-RM y AvaSpec-NIR256-1.7-RM, Avantes BV, The Netherlands), una fuente de iluminación halógena de tungsteno (AvaLight-HAL-S, Avantes BV, The Netherlands) y una sonda de reflexión (FCIR-7IR200-2-45-ME, Avantes BV, The Netherlands).

Cada fruta se midió cinco veces utilizando el programa AvaSoft 7.2 del mismo fabricante y las lecturas se promediaron automáticamente para cada señal del espectro. Se fijó un tiempo de integración de 90 ms para el detector sensible en la región VIS-NIR y de 700 ms para el detector sensible en la región NIR. Las calibraciones se realizaron con una referencia blanca. Los datos espectrales medidos en porcentaje de reflexión se transformaron en valores de absorbancia.

Determinación de los parámetros físico-químicos

Con el fin de evaluar la firmeza y la madurez de los mangos, se evaluaron las propiedades mecánicas y la composición interna. Dichos análisis se llevaron a cabo inmediatamente después de las mediciones de los espectros NIR.

Las propiedades mecánicas se analizaron a través de un ensayo de punción mediante una prensa universal (TextureAnalyser-XT2, Stable MicroSystems (SMS), Haslemere, England) con un punzón de 6 mm de diámetro (P/15ANAMEsignature) hasta que se alcanzó una deformación relativa del 30% a una velocidad de 1 mm/s, por triplicado para cada muestra. Para cada muestra se determinaron la fuerza de fractura (F), la deformación en el punto de fractura (D_F) y la pendiente del rango lineal hasta el punto de fractura.

La composición interna se analizó a través de los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (TA) de las muestras. Se determinó el contenido de SST por refractometría (°Brix) con un refractómetro digital (set RFM330+, VWR International Eurolab S.L, Barcelona, España) a 20 °C y con una sensibilidad de $\pm 0,1$ °Brix. El análisis de TA se realizó con un titulador automático (CRISON, pH-bureta 24, Barcelona, España) con NaOH 0,5 N hasta un pH de 8,1 siguiendo la norma UNE34211:1981 (AENOR, 1981), utilizando 15 g de mango triturado y diluyéndolo en 60 ml de agua destilada. La TA se determinó en base al porcentaje de ácido cítrico calculado mediante la Ecuación (1).

$$\text{Acidez [g ácido cítrico/100g muestra]} = \frac{(A \times B \times C / D) \times 100}{E} \quad (1)$$

donde A es el volumen de NaOH consumido en la titulación (en L), B es la normalidad de NaOH (0,5 N), C es el peso molecular del ácido cítrico (192,1 g/mol), D es el peso de la muestra (15 g) y E es la valencia del ácido cítrico (E=3).

Se calculó un índice de madurez (RPI), tal como describieron Vélez-Rivera *et al.* (2014), mediante la Ecuación (2).

$$RPI = \ln\left(100 \cdot F \cdot \frac{TA}{TSS}\right) \quad (2)$$

donde F es la firmeza (N), TA es la acidez (g ácido cítrico/100 g de muestra) y TSS son los sólidos solubles totales (°Brix).

Análisis de los datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas entre los análisis físico-químicos realizados a los diferentes lotes usando el software Statgraphics Plus para Windows 5.1 (Manugistics Corp., Rockville, Md., EE.UU.).

Por otro lado, los espectros y los datos obtenidos de los análisis físico-químicos se estructuraron en una matriz donde las filas representaban las 140 muestras y las columnas representaban el número de variables (las variables proporcionadas por los espectros VIS-NIR y las variables proporcionadas por los análisis físico-químicos). Se desarrollaron dos modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) utilizando el programa estadístico The Unscrambler® (CAMO, Oslo, Norway), para predecir el RPI en base a las medidas espectrales VIS-NIR. La técnica PLS es particularmente útil cuando es necesario predecir un conjunto de variables dependientes a partir de un conjunto de variables independientes (Abdi, 2010). La variable dependiente (Y) representaba el RPI calculado en base a las propiedades físico-químicas analizadas, mientras que los espectros VIS-NIR representaban las variables independientes (X). Las muestras se separaron aleatoriamente en dos grupos, un grupo de 105 muestras se utilizó para el desarrollo y evaluación del modelo mediante validación cruzada, mientras que las 35 muestras restantes se utilizaron como conjunto independiente de predicción. El rendimiento de los modelos se evaluó usando el error estándar de calibración (SEC), el error estándar de la validación cruzada (SECV), el error de la raíz cuadrada de la media de la calibración (RMSEC), la raíz media del error cuadrado de la validación cruzada (RMSECV), el coeficiente de determinación (R^2) y el número de variables latentes requeridas (#LV).

Resultados y Discusión

Análisis físico-químicos

La Tabla 1 muestra las características físico-químicas (propiedades mecánicas, sólidos solubles y acidez titulable) de los mangos durante el periodo de almacenamiento. Tal y como se esperaba, durante el proceso de maduración se observó una pérdida de firmeza de los mangos. Durante el almacenamiento, la fuerza de fractura y la pendiente del rango lineal hasta el punto de fractura disminuyeron, mientras que la deformación en el punto de fractura aumentó. Estos cambios pueden deberse a un aumento de la

actividad enzimática en el fruto que provoca cambios en la integridad estructural de la pared celular y lamela media, tal y como describieron Yashoda *et al.* (2007). Durante el reblandecimiento de la fruta, las paredes celulares son modificadas por solubilización, de-esterificación y despolimerización, acompañado de una extensa pérdida de azúcares neutros y ácido galacturónico (Singh *et al.*, 2013).

Tabla 1. Características físico-químicas de los mangos durante el periodo de almacenamiento.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	Propiedades mecánicas			Composición interna	
	F (N)	D _F	Pendiente (N/mm)	TSS(°Brix)	TA (g/100g)
Lote A	105±8 ^a	7±3 ^a	18±2 ^a	8±1 ^a	0,49±0,09 ^a
Lote B	97±19 ^{a,b}	7±1 ^a	15±4 ^b	12±2 ^b	0,55±0,13 ^a
Lote C	100±30 ^{a,b}	8±1 ^{a,b}	14±5 ^b	12±3 ^{b,c}	0,50±0,09 ^a
Lote D	90±25 ^{b,c}	9±1 ^b	11±4 ^c	14±2 ^{c,d}	0,67±0,11 ^b
Lote E	77±25 ^c	10±1 ^c	8±4 ^d	15±2 ^{d,e}	0,67±0,15 ^b
Lote F	40±17 ^d	10±2 ^c	4±2 ^e	16±2 ^e	0,26±0,12 ^c
Lote G	24±6 ^e	10±2 ^c	2±1 ^e	18±1 ^f	0,12±0,03 ^d

Los valores son la media ± SD.

^{a-f} Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas entre los lotes ($p < 0.05$).

Otros cambios en la composición interna de la fruta que se observaron durante el tiempo de almacenamiento fueron el aumento del contenido en sólidos solubles y la disminución de la acidez titulable (Tabla 1). Generalmente, el contenido en sólidos solubles en mango presenta un rango entre 7,0 a 17,4 °Brix, dependiendo de la variedad, su lugar de producción y su estado de madurez (Lucena *et al.*, 2007). Para la variedad ‘Osteen’, los frutos alcanzan la etapa de máxima aceptabilidad por el consumidor cuando presentan alrededor de 14 a 15 °Brix (Vilela *et al.*, 2013). En este experimental, los mangos presentaron en el momento de realizar las medidas una graduación entre 5,85 y 19,5 °Brix. De acuerdo con estos valores, los mangos del lote A podían clasificarse como mangos verdes y los del lote G como mangos sobremaduros, mientras que los mangos de los lotes B, C, D, E y F presentaban una madurez intermedia.

La acidez titulable del mango varió desde 0,970 a 0,007 g/100 g de muestra. Yashoda *et al.*, (2007) observaron valores similares para la variedad ‘Alphonso’. La disminución de la acidez titulable durante el proceso de maduración puede deberse a la metabolización celular de los ácidos orgánicos volátiles y no volátiles.

Los valores del RPI disminuyeron con el tiempo de almacenamiento (Tabla 2) tal y como encontraron Vélez-Rivera *et al.* (2014) para el caso de mango ‘Manila’. Con estos valores, se pudo identificar tres fases de madurez en base al parámetro RPI: mangos

verdes (lote A), mangos de madurez intermedia (lotes B, C, D, E y F) y mangos sobremaduros (lote G).

Tabla 2. Valores medios y desviación de RPI para los distintos lotes de mangos.

	<i>Lote A</i>	<i>Lote B</i>	<i>Lote C</i>	<i>Lote D</i>	<i>Lote E</i>	<i>Lote F</i>	<i>Lote G</i>
<i>RPI</i>	6,5±0,2 ^a	6,1±0,4 ^b	5,9±0,6 ^b	6,0±0,5 ^b	5,8±0,6 ^b	4,0±0,7 ^c	2,7±0,4 ^d

Los valores son la media ± SD.

^{a-f} Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas entre los lotes ($p < 0.05$).

Análisis espectros NIR

Las curvas espectrales mostraron diferencias en las zonas del espectro entre 595-1100 nm y 888-1750 nm en los distintos periodos de almacenamiento (Figura 1) debido a las diferentes características de transmisión de los mangos respectivamente dentro del rango de madurez estudiado (Jha *et al.*, 2012). Estas diferencias podrían ser debidas a los cambios en los contenidos de humedad o de sólidos solubles totales durante el almacenamiento del mango, así como cambios de color. Las curvas espectrales para los diferentes lotes de maduración siguen un patrón similar. Es posible identificar picos característicos a diferentes bandas, como por ejemplo alrededor de 670nm, se observa un pico que puede estar relacionado con el contenido en clorofila de la fruta el cual tiene una fuerte correlación inversa con el contenido en azúcar cuyos picos se identifican alrededor de 1200 y 1440nm. Otro pico indicativo es el correspondiente al contenido en agua cercano a los 970nm, el cual aunque en menor medida también puede apreciarse en la figura 1(a). En general se observa que a medida que avanza el proceso de maduración el pico de 670 nm disminuye, posiblemente debido al aumento del contenido en β -carotenos y xantofilas en la epidermis de aquellos mangos más maduros (Vélez-Rivera *et al.*, 2014), mientras que los picos a 1200 y 1440nm aumentan debido al incremento en el contenido en sólidos solubles de la fruta. Variaciones similares también han sido determinadas en otros estudios trabajando con mangos y en modo reflectancia (Mahayothé *et al.*, 2004), así como con otras frutas (Jha y Garg, 2010).

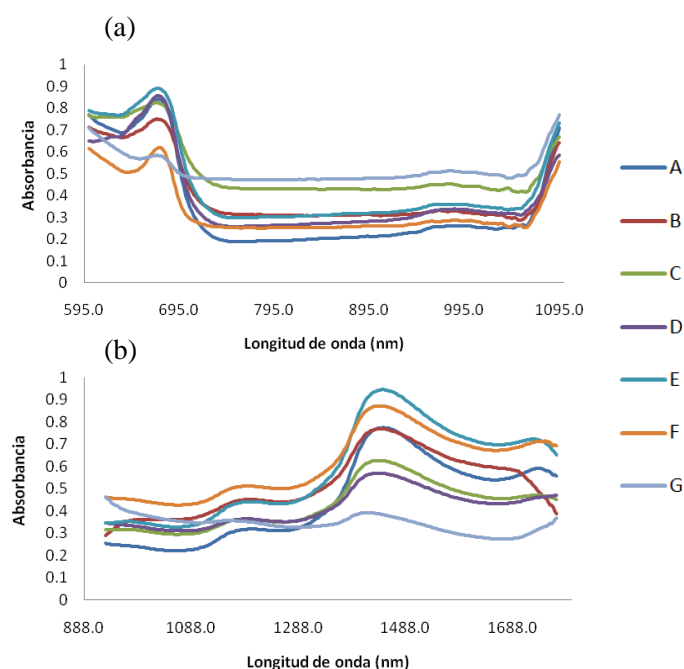


Figura 1. Espectros típicos para los diferentes lotes de madurez del mango en el rango de longitud de (a) 595-1100 nm (VIS-NIR) y (b) 888-1795 nm (NIR).

Correlación entre los espectros NIR y las características físico-químicas de los mangos

Con el fin de ver si los espectros en el rango VIS-NIR y en el rango NIR son capaces de predecir el estado de madurez de los mangos, se desarrollaron dos modelos mediante PLS para obtener la correlación entre el ensayo no destructivo y las características físico-químicas extraídas de los análisis destructivos. En la Tabla 3 y Tabla 4 se muestra el SEC, SECV, RMSEC, RMSECV, R^2 y #LV para el RPI en ambos modelos, respectivamente.

Los resultados observados en ambos modelos PLS para el RPI mostraron valores bajos de SEC, SECV, RMSEC y RMSECV, y altos valores de R^2 , lo que se traduce en un buen rendimiento de ambos modelos. La validación cruzada se obtuvo mediante la extracción de un conjunto de factores ortogonales o variables latentes (#LV). Para el detector VIS-NIR se obtuvieron 9 variables y para el detector NIR 13 variables latentes.

Tabla 3. Resultados de los modelos PLS para la calibración y validación cruzada para el detector VIS-NIR.

<i>n</i>	#LV	CALIBRACIÓN			VALIDACIÓN CRUZADA		
		R^2	RMSEC	SEC	R^2	RMSECV	SECV
105	9	0,922	0,388	0,390	0,878	0,490	0,492

Tabla 4. Resultados de los modelos PLS para la calibración y validación cruzada para el detector NIR.

		CALIBRACIÓN			VALIDACIÓN CRUZADA		
<i>n</i>	#LV	R^2	RMSEC	SEC	R^2	RMSECV	SECV
105	13	0,931	0,359	0,361	0,871	0,496	0,498

Cuando se utilizaron los modelos para predecir las 35 muestras restantes (Tabla 5), se observó que las predicciones también eran altas. El coeficiente de determinación entre los valores espectrales y los valores de RPI fue de 0,854 y de 0,886 con un error estándar de predicción de 0,478 y 0,440 para los detectores sensibles en el rango VIS-NIR y NIR respectivamente. Estos resultados indican que hay buenas correlaciones entre las mediciones espectrales y los análisis destructivos.

Tabla 5. Resultados de los modelos PLS para la predicción del RPI en las muestras de mango con ambos detectores.

DETECTOR	<i>n</i>	R^2	RMSEP	SEP	BIAS
VIS-NIR	35	0,854	0,481	0,478	-0,099
NIR	35	0,886	0,447	0,440	0,108

La Figura 2 muestra los resultados de los modelos PLS para la predicción del RPI en las muestras de mango con ambos detectores. Dicha figura muestra la eficiencia de los modelos PLS para la predicción del RPI. El RPI combina los valores de firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales. En ambas figuras, el eje de ordenadas y de abscisas representan los valores ajustados predichos y medidos respectivamente. La correlación entre los valores medidos y predichos para cada parámetro muestra un buen rendimiento de la predicción.

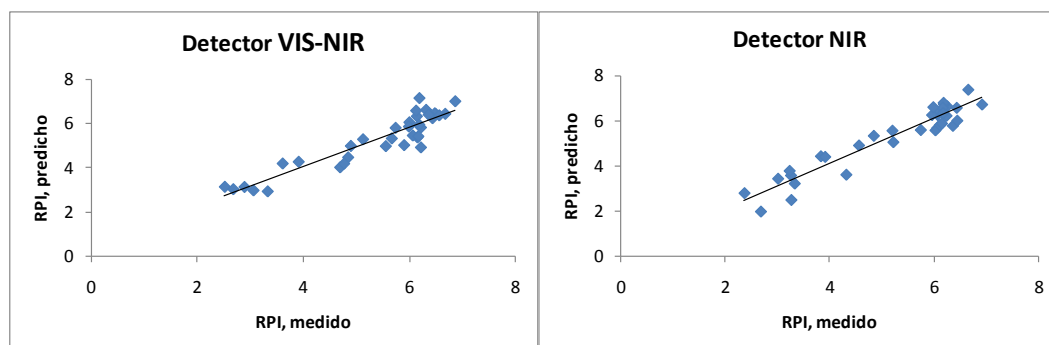


Figura 2. Resultados de los modelos PLS para la predicción del RPI en las muestras de mango con ambos detectores.

Conclusiones

A través del RPI se ha podido evaluar la madurez de los mangos 'Osteen'. Este índice se determina analizando la firmeza, la acidez titulable y el contenido en sólidos solubles del producto, pero también puede ser predicho a través de medidas espectrométricas no destructivas en el rango VIS-NIR con un R^2 superior al 0,85 y un RMSEP del 0,481, y en el rango NIR mejoró el modelo con un R^2 de 0.886 y un RMSEP del 0.447, para un total de 9 y 13 variables latentes respectivamente. La predicción de este índice mediante técnicas no destructivas es una alternativa interesante a los métodos tradicionales utilizados actualmente. En base a estos resultados se recomienda comprobar la robustez del modelo mediante una validación externa con otros lotes de mango "Osteen" procedente de distintas campañas, pero a priori estos resultados son prometedores para una posible integración de esta tecnología en líneas de confección de mango como un sistema capaz de garantizar la calidad del producto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al INIA y los fondos FEDER a través de los proyectos RTA2012-00062-C04-01, RTA2012-00062-C04-02 y RTA2012-00062-C04-03, y a la Consellería de Educación, Cultura y Deporte, Generalitat Valenciana a través del proyecto AICO/2015/122. Victoria Cortés López agradece al Ministerio Español de Educación, Cultura y Deporte por la beca FPU (FPU13/04202).

Bibliografía

- Abdi H., 2010. Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS Regression). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(1), 97-106.
- AENOR, 1981. Productos derivados de frutas y verduras, determinación de la acidez valorable. UNE 34211:1981.
- Jaiswal P., Jha S.N., Bharadwaj R., 2012. Non-destructive prediction of quality of intact banana using spectroscopy. *Scientia Horticulturae*, 135, 14-22.
- Jha, S.N., Garg, R., 2010. Non destructive prediction of quality of intact apple using near infrared spectroscopy. *J. Food Sci. Technol.* 47, 207–213.
- Jha, S.N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Gupta, M., Bhardwaj, R., Singh, A. K., 2012. Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. *J. Scientia Horticulturae*, 138, 171-175.
- Lucena, Eliseu Marlônio Pereira de, Assis J.S.d., Alves R.E., Silva, Víctor César Macêdo da, Enéias Filho J., 2007. Alterações físicas e químicas durante o desenvolvimento de mangas 'Tommy Atkins' no vale de São Francisco, Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 96-101.
- Machado N.P., Fachinello J.C., Galarça S.P., Betemps D.L., Pasa M.S., Schmitz J.D., 2012. Pear quality characteristics by Vis / NIR spectroscopy. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 84 (3), 853-863.
- Magwaza L.S., Opara U.L., Nieuwoudt H., Cronje P., Saeys W., Nicolai B., 2012. NIR Spectroscopy Applications for Internal and External. *Food Bioprocess Technology* 5, 425-444.
- Mahayothé B., Leitenberger M., Neidhart S., Mühlbauer W., Carle R., 2004. *ActaHortic.* 645, 581-588.
- Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peirs A, Saeys W, Theron IK, Lammertyn J., 2007. Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 99–118.

- Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, H., Fuchs, Y., 2000. Determination of mango physiological indices by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 19, 245–252.
- Singh Z., Singh R.K., Sane V.A., Nath P., 2013. Mango – Postharvest Biology and Biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(4), 217-236.
- Theanjumol P., Self G., Rittiron R., Pankasemsuk T., Sardud V., 2013. Selecting Variables for Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Evaluation of Mango Fruit Quality. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 5, No.7.
- Vélez-Rivera N., Blasco J., Chanona-Perez J., Calderon-Dominguez G., de Jesus Perea-Flores M., Arzate-Vazquez I., Cubero S., Farrera-Rebollo R., 2014. Computer Vision System Applied to Classification of “Manila” Mangoes During Ripening Process. *Food and Bioprocess Technology* 7, 1183-1194.
- Vilela C., Cordeiro N., Silvestre A.J.D., Oliveira L., Camacho J., 2013. The ripe pulp of *Mangifera indica* L.: A rich source of phytosterols and other lipophilic phytochemicals. *Food Research International*, 54(2), 1535-1540.
- Watanawan, C., Wasusri, T., Srilaong, V., Wongs-Aree, C. and Kanlayanarat, S., 2014. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. var. Namdokmai). *Internacional Food Research Journal*, 21 (3), 1109-1114.
- Yashoda H.M., Prabha T.N., Tharanathan R.N., 2007. Mango ripening – Role of carbohydrases in tissue softening. *Food Chemistry*, 102(3), 691-698.