

Sistema automatizado para la determinación del estado de maduración en fruta bomba

Automated system for papaya ripeness stage determining

Ing. Minelkis Machado Molina, Dr.C. Annia García Pereira, Dr.C. Neili Machado García

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. El desarrollo de tecnologías digitales y su aplicación en la agricultura brindan nuevas posibilidades de automatización de procesos tecnológicos. La investigación realizada tiene como objetivo desarrollar una herramienta informática para la determinación no destructiva del estado de maduración en fruta bomba (var. Maradol Roja). Para alcanzar dicho objetivo se emplea la metodología para el diseño del software Proceso Unificado de Desarrollo (RUP). Para el procesamiento de imágenes se utilizan técnicas de reconocimiento de patrones y para la convención de modos de color de RGB a Lab se entrena una red neuronal Perceptron multicapas. Entre los principales resultados se presentan la elevada dependencia entre el IC* y el estado de maduración alcanzando un R² de 0,91. Se establecen rangos de IC* por estado de maduración, además se obtiene el software SADEM (Sistema Automatizado para Determinar Estado de Maduración) que mediante una imagen digital establece el estado de maduración de la fruta bomba variedad Maradol Roja.

Palabras clave: Índice de color, estado de maduración, reconocimiento de patrones, red neuronal.

ABSTRACT. The development of digital technologies and their application in agriculture offer new possibilities of automation of technological processes. The research aims to develop an informatics tool for ripeness stage determining in papaya (var. Red Maradol) from obtaining color index (IC*) with the use of pattern recognition techniques. To achieve this objective methodology for software design Rational Unified Process (RUP) is used. For image processing pattern recognition techniques are used for the convention and color modes RGB to Lab Multilayer Perceptron neural network is trained. The main results show high dependence between the IC* vs. ripeness stage reaching R² coefficient of 0.91. IC* ranges for ripeness stages are also established using the SADEM (Automated System for Determining ripeness) software that provides a digital image by the ripeness of the fruit variety Red Maradol pump is obtained.

Keywords: index color, ripeness, pattern recognition, neural network.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, se ha observado un mayor consenso sobre la necesidad de determinar los estados de maduración de los productos agrícolas, fundamentado por la necesidad de que el consumidor tenga a su disposición, frutos comestibles con los parámetros óptimos de calidad. Esta demanda de frutas y hortalizas frescas, obliga a los profesionales de la industria y a los investigadores a realizar ensayos que brinden una valoración acertada sobre dicho parámetro.

El desarrollo de tecnologías digitales y su aplicación en la agricultura le brindan a este sector nuevas posibilidades de automatización de procesos tecnológicos incluyendo aquellos durante las etapas pre y poscosecha lo que resulta de vital importancia para el manejo y toma de decisiones. La necesidad de contar con una correcta planificación de la etapa poscosecha en

una amplia gama de productos agrícolas depende fundamentalmente de la calidad del producto y del comportamiento de las propiedades.

La calidad de los productos agrícolas hace referencia a una serie de características que determinan su grado de aceptación por parte del consumidor, relacionadas fundamentalmente con su sanidad general y con su vida comercial. En función de esta, el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas y organolépticas de cualquier producto agrícola, juega un papel indispensable para lograr una buena presentación y conservación del mismo, permitiendo definir el manejo más adecuado durante los periodos de pre-cosecha, cosecha y poscosecha según Buitrago *et al.* (2004). Así mismo, la madurez de un fruto perecedero tiene una marcada influencia sobre la calidad

y vida útil en almacenamiento y afecta el manejo poscosecha, el transporte y el mercadeo; además, conociendo las mediciones de madurez, es un punto central de la tecnología de poscosecha (Reid, 2002¹).

Los cambios en la calidad de las frutas durante su vida y la inclinación hacia el deterioro en general, involucra cambios que responden a las propiedades organolépticas dentro de ella el índice de color que se determina en los frutos para medir algunos aspectos esenciales en su consumo, enfocados en el deterioro de la textura, variación en el contenido de sólidos solubles y ácidos, así como oscurecimiento enzimático (Soliva-Fortuny, 2002).

Determinar la propiedad de IC* adquiere una importancia significativa en la determinación de la calidad de los frutales a través del tratamiento digital de imágenes que constituye un arma muy potente para poder distinguir y describir los puntos de análisis en la fruta donde el ojo no es capaz de distinguir cientos de colores determinantes en la escala de maduración (González, 1969²).

Actualmente los procesos de selección y monitoreo en Cuba se realizan por métodos tradicionales destructivos, donde todos los frutos que se utilizan para las pruebas de laboratorio son desechados, no estando acorde con los requisitos establecidos en las normas internacionales, que exigen la inspección no destructiva, la cual se realiza en modernas líneas de selección y procesos tecnológicos previamente analizados a partir del conocimiento científico. Las técnicas no destructivas como su nombre lo indican tienen la función de brindar una valoración cuantitativa y cualitativa de las propiedades anteriormente mencionadas manteniendo el producto intacto. El empleo del IC* como herramienta permite a través del uso de técnicas como la fotografía establecer los estados de maduración y ha sido abordada de forma satisfactoria por Vignoni y Cesari (2006), y por Yirat (2009³), entre otros, basándose exclusivamente para ello en las bondades del software especializado Adobe Photoshop.

Por otro lado, las técnicas de reconocimiento de patrones han surgido como una potente herramienta que fundamentalmente se basan en las propiedades físicas de la materia, son capaces de caracterizar diferentes productos, su utilización ha sido reportada en el reconocimiento automático de rostros, utilizado en numerosas aplicaciones prácticas, como por ejemplo, sistemas de vigilancia, control de accesos, autenticación de usuarios para dispositivos electrónicos como teléfonos celulares, cámaras, agendas electrónicas, etc. Es uno de los métodos biométricos más usados debido entre otros factores a que es una técnica no invasiva, natural y fácil de usar (Stan, 2005).

Además son utilizadas en la actualidad en una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la visión por computadora, entre las que podemos mencionar: interpretación y recuperación de imágenes y video, reconocimiento de objetos, Localización y Mapeo Simultáneo de Robots (SLAM) y seguimiento de puntos en video. La investigación en esta área ha tenido un auge

en estos últimos años, existiendo prestigiosos investigadores y numerosas instituciones con interés en este tema (Remón y García, 2010).

La determinación del IC* como herramienta no destructiva para evaluar los estados de maduración hasta el momento se realiza de forma semiautomática importando en el software especializado Adobe Photoshop las imágenes digitales lo que provoca, como desventaja, la necesidad de personal capacitado que trabaje con el software, solamente se podrán realizar estos experimentos en laboratorios, pues no será posible llevar a cabo la determinación de las propiedades en líneas automatizadas de selección, debido al tiempo de procesamiento.

DESARROLLO

Las frutas pasan durante su vida por una serie de períodos caracterizadas en una secuencia de continuos cambios metabólicos que se dividen en tres etapas fisiológicas: crecimiento, maduración y senescencia según Aranceta y Pérez-Rodrigo (2006), por lo que resulta esencial determinar las propiedades organolépticas que surgen a partir de criterios de aceptación del producto que es manejado por los consumidores y reúnen un grupo de normas que se encuentran valoradas por los órganos sensoriales y criterios para la comercialización, almacenamiento y conservación dándole suma importancia a aquellas cualidades que el consumidor valora y de las que no tiene información hasta consumirlo. Existen muchos métodos para evaluar la calidad basados en técnicas de medición del color, la ventaja de esta técnica es la aplicación de técnicas no destructivas y su correlación con el resto de las propiedades de calidad, se consideran de fácil aplicación para medir las propiedades organolépticas y facilitan la información del panel de expertos encargados de evaluar el fruto visualmente dentro de ella el color para hacer mediciones que predigan los estados de maduración por los que transitan los frutos jugando un papel en el proceso de aseguramiento de la calidad acorde con las especificaciones internacionales para la coloración de estos.

El color es la característica más notoria en muchos alimentos durante su maduración y por ello es utilizado como criterio para definir madurez a pesar de que la firmeza es la propiedad que por excelencia describe el cambio en estos estados (Dufossé *et al.*, 2005). En los alimentos suele ser un parámetro muy importante para la selección por parte de los consumidores de ahí la intención en esta investigación de estudiar la dependencia entre el IC* y los estados de maduración empleando una herramienta informática.

MÉTODOS

La fruta analizada fue la fruta bomba (var. Maradol Roja), se evaluó en cuanto al IC* como una propiedad de calidad no destructiva para la predicción del estado de maduración.

¹ REID, M.: Maturation and maturity indices, 535pp., pp. 55-62, En: Kader, A.A. (ed.) Postharvest technology of horticultural crops. 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California, USA, 2002.

² GONZÁLEZ, T., Effects of plant density on the production of a plant crop of Red Spanish pineapple in P Rico Proc., Caribbean Food Crops Soc., Puerto Rico, 1969.

³ YIRAT, M.: Estudio de las propiedades de calidad de la guayaba (*Psidium guajava* L.), (variedad Enana roja EEA 1-23), San José de las Lajas, La Habana, Cuba, 2009.

El IC* describe la coloración de la epidermis de la fruta, permitiendo seguir la evolución de la maduración y para ello devuelve tres parámetros L*, a*, b*, siguiendo el estándar de iluminación de la escala espectral, donde L* describe la luminosidad y a*, b*, evalúan la saturación que da la pureza del color y el tono es el color propiamente.

Eje a, que va del verde al rojo midiendo la pureza del color.

Eje b, que va del azul al amarillo midiendo el tono del color propiamente.

La expresión matemática (1), determinada para calcular el Índice de Color según Thompson (1998⁴).

$$IC^* = \frac{a \times 1000}{L \times b} \quad (1)$$

donde:

a- zona de variación entre el verde y el rojo del espectro;

L- intensidad del color;

b- zona de variación entre el azul y el amarillo del espectro.

El IC* de una fruta entera puede variar a lo largo de toda su superficie debido a la aparición de betas propias del proceso de maduración, de ahí que sea conveniente establecer rangos de maduración de IC* según la norma que se emplee como referencia.

El color se puede definir clásicamente como la percepción visual por la cual un observador es capaz de distinguir dos objetos con la misma forma, textura y tamaño (Wyszecki y Stiles, 1982). La percepción del color depende de tres factores: la fuente luminosa, la composición espectral del objeto (es decir, el conjunto de longitudes de onda que refleja en el rango del espectro visible) y el ojo humano que observa este objeto. Desde el punto de vista técnico estos factores se nombran: iluminante, observador y objeto (Perales, 2009).

Actualmente existen muchos espacios de representación de color diferentes, la gran mayoría derivados del espacio propuesto por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) en el año 1931 (espacio CIE-RGB). En este espacio de adoptan como primarios los colores espectrales con longitudes de onda 700,546.1 y 435.8 nm. En el espacio RGB el color aparece especificado mediante cantidades positivas de rojo, verde y azul en tres planos. Entre las desventajas del modelo RGB destacan la no uniformidad. No es posible evaluar la diferencia observada entre colores con una medida de distancia a partir de los primarios R, G y B. Además no es un modelo intuitivo psicológicamente. Es difícil describir un color con cantidades y porcentajes de los primarios del espacio.

El reconocimiento de patrones consiste en el reconocimiento de patrones de señales. Los patrones se obtienen a partir de los procesos de segmentación, extracción de características y descripción dónde cada objeto queda representado por una colección de descriptores.

Existen numerosas técnicas de segmentación de hecho, el número de algoritmos aumenta sostenidamente en una proporción de varios centenares por año desde que comenzó el siglo XXI, sumando hasta varios miles desde su invención (Gil, 2011).

Segmentar una imagen digital significa dividirla en zonas disjuntas e individualizadas. Es decir, consiste en diferenciar los diversos objetos y donde se encuentra el fondo, que se puede ser más o menos complejo, de la imagen. Al final de la etapa de segmentación, se tienen que conocer perfectamente los objetos que hay para extraer las características propias de cada uno de ellos. Además, cada píxel de la imagen tiene que tener una etiqueta que los defina, de forma que simplemente por agrupación de puntos con la misma etiqueta y conectados espacialmente, se pueda determinar la lista de objetos (EDMAS, 2006⁵).

El proceso de segmentación por umbralización basado en histograma, consiste en agrupar los píxeles según sus niveles de intensidad luminosa. Es un proceso que permite convertir una imagen de niveles de gris o de color en una imagen binaria, de tal forma que los objetos de interés se etiqueten con un valor distinto al de los píxeles del fondo.

Las redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico (Matich, 2001).

Dentro del marco de las redes de neuronas, el Perceptron multicapa es una de las arquitecturas más utilizadas en la resolución de problemas. Esto es debido, fundamentalmente, a su capacidad como aproximador universal, así como a su fácil uso y aplicabilidad. Estas redes han sido aplicadas con éxito para la resolución de problemas en una gran variedad de áreas (Galván & Isasi, 2001; Isasi & Galván, 2004).

En 2006 León *et al.* (2006), utilizaron una red neuronal de este tipo para la conversión entre los espacios de color RGB a CIELAB y compararon este método con otros métodos existentes para la conversión, obteniendo como resultado que la red neuronal efectuaba la conversión con un error menor al 1% ostentando el mejor rendimiento de los métodos analizados (Leon *et al.*, 2006).

Metodología utilizada

Las frutas se recolectaron en la Finca "Las Papas" del Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias (INCA), ubicado en el municipio San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. La selección de la muestra se realiza por un panel de expertos, empleando como criterio común la talla, el color, la firmeza al tacto y que el fruto esté libre de daños. Una vez conformada la muestra inicial (32 frutas seleccionadas aleatoriamente, separadas en 4 grupos de 8), los frutos son trasladados al laboratorio de Calidad de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH).

El IC* se obtiene por el método de captación de imágenes, acorde con Vignoni y Césari, (2006). Para la obtención de las imágenes digitales se emplea el método de fotografía utilizando para ello una cámara modelo CANON Power Shot A630 8.5 mega-píxeles, ubicada en un trípode profesional elevado a 1.40 m de la superficie del suelo y a tres metros del objetivo. Para la captura de las imágenes se realizó un pre experimento

⁴ THOMPSON: Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas, 268pp., Armenia, Colombia, 1998.

⁵ EDMAS: Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial, pp, 6-49, Ed. Universidad de la Rioja, España, 2006.

en el cual las mismas fueron tomadas sobre fondos de color rojo, gris y blanco, mientras la cámara fue ubicada a 0, 30, 45 y 60° con el objetivo de obtener imágenes lo más nítidas posible en función de la intensidad de la luz y la proyección de sombra, resultando el fondo gris a 45° el de mejores resultados.

Una vez seleccionado el fondo y el ángulo de disparo de la foto, a cada fruta según los estados de maduración se le realizan tres capturas, luego las imágenes son exportadas al software portable ADOBE PHOTOSHOP v.10 en español, donde a cada una de ellas se le obtiene la representación numérica de las variables L^* , a^* y b^* para finalmente obtener el valor promedio de ellas. El valor del IC^* se determina según la expresión matemática (1) y se ubica en un plano de colores definido por dos ejes que permite visualizar la correspondencia de dicha propiedad con los colores de la escala de maduración.

Para el desarrollo del software, se utilizó la metodología RUP (Proceso Unificado de Rational), por su probada eficiencia para el desarrollo de software de mediana o gran complejidad (Jacobson y Booch 2000). Basándose en UML (Lenguaje Unificado de Modelado) (Schmuller, 2004); y como herramienta CASE se utilizará Visual Paradigm (Parading, 2010). Se implementa la red neuronal Perceptron Multicapa para la conversión de los valores de RGB al modo CieLab, la misma esta entrenada con valores característicos de la fruta bomba obtenida experimentalmente con el software Adobe Photoshop. El procesamiento de la imagen se realiza por el método de segmentación por umbralización

que separa el objeto del fondo, posteriormente se calcula la media aritmética por los planos RGB, empleando la red neuronal para la conversión de los valores RGB a $L^*a^*b^*$ y con ellos calcula el IC^* , devolviendo finalmente el estado de maduración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existe una elevada dependencia entre el IC^* y los estados de maduración (Figura 1), a medida que aumenta el estado de maduración aumentan también los valores de IC^* , coincidiendo en la escala de colores con valores desde el verde-negro hasta el rojo-anaranjado (Figura 2), obteniéndose un valor de R^2 igual a 0,91 ajustándose a un modelo lineal.

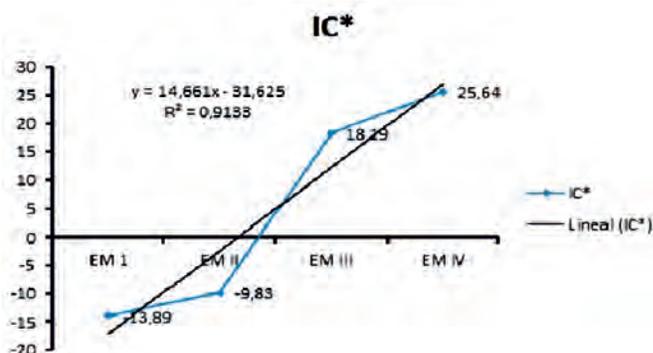


FIGURA 1. Comportamiento del IC^* según el estado de maduración.

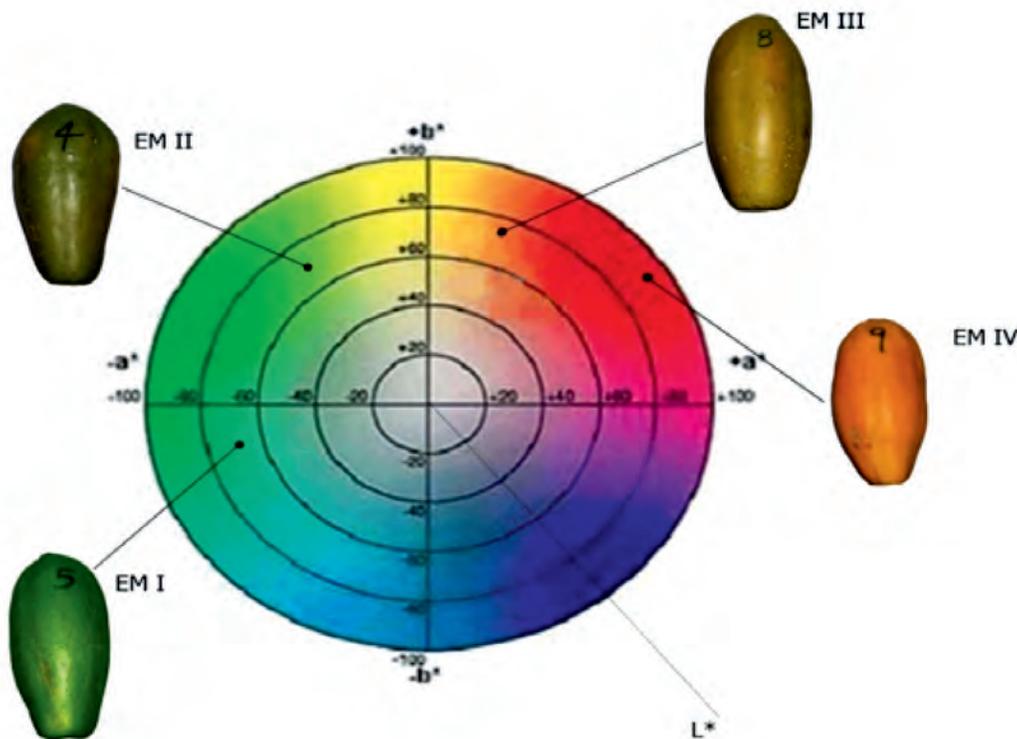


FIGURA 2. Diagrama espectral del color en cada estado de maduración.

El Sistema Automatizado para Determinar los Estados de Maduración (SADEM) obtiene el estado de maduración de la fruta bomba variedad Maradol Roja a partir de una imagen digital tomada a la fruta (Figura 3).

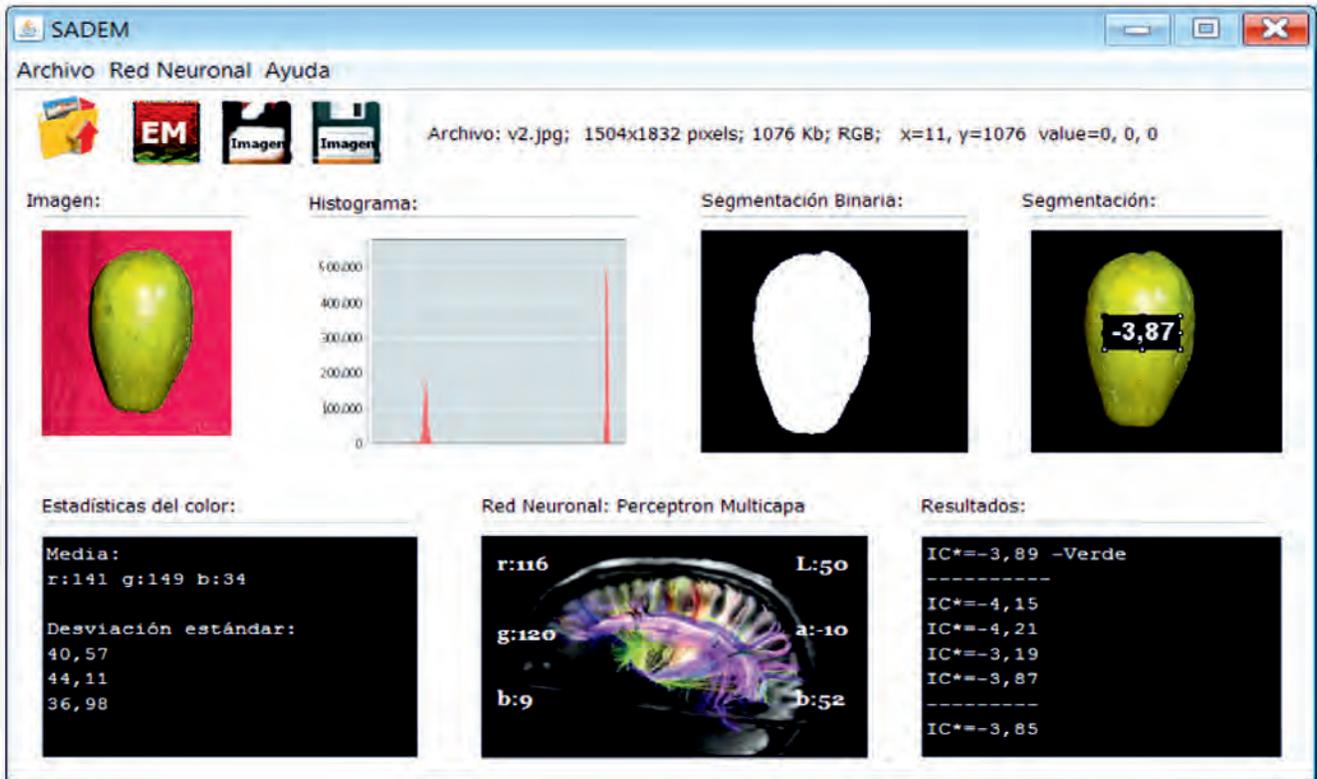


FIGURA 3. Sistema automatizado para determinar los estados de maduración.

Luego de realizar un análisis de correlación lineal entre el IC* calculado con el método que utiliza Photoshop y el IC* calculado con el software, se obtuvo que el coeficiente de correlación es de 0,98 para la muestra seleccionada (50%). Teniendo en cuenta que en el método que utiliza Photoshop el usuario escoge los puntos que cree significativos para calcular el IC*, mientras que el sistema analiza todos los puntos RGB de la imagen, el resultado obtenido es satisfactorio (Figura 4), validado por el criterio de los expertos donde se comprobó que los índices obtenidos con el software coincidían con los IC* que correspondían con el estado de maduración que se apreciaba visualmente.

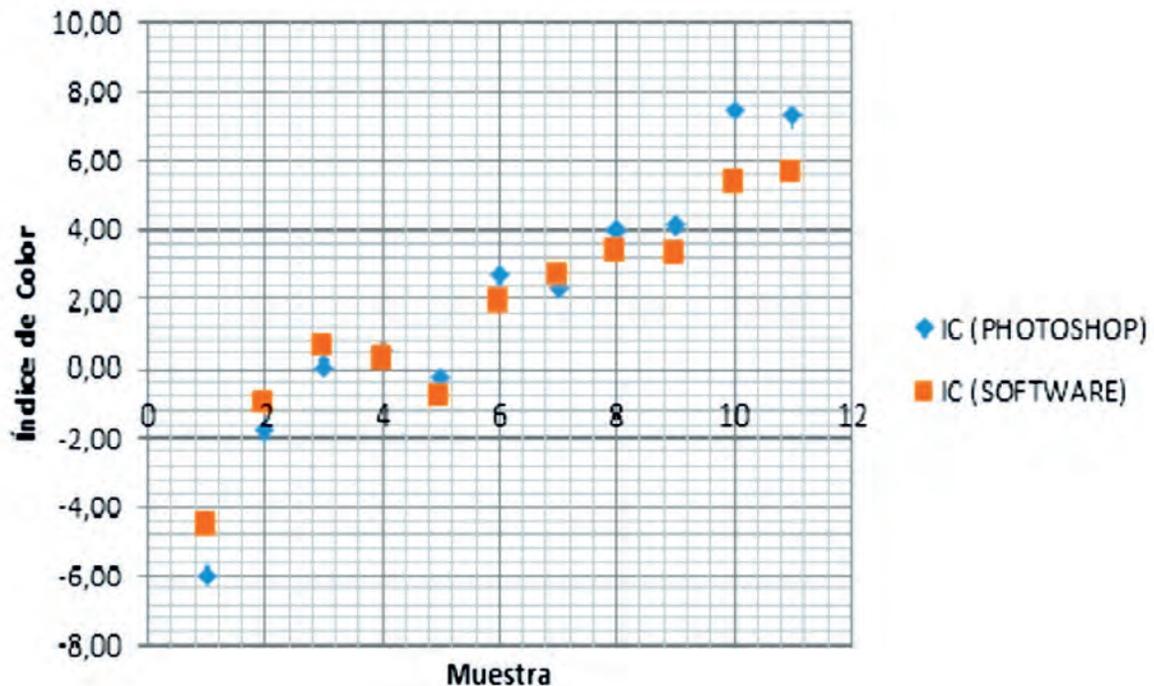


FIGURA 4. Comparación entre los IC* calculados.

CONCLUSIONES

- Con los elementos brindados en el presente trabajo, puede concluirse que:
- Existe una elevada dependencia entre el IC* y los estados de maduración del R² de 0,91.
- La incorporación de las técnicas de reconocimiento de patrones permitieron definir satisfactoriamente la propiedad

IC* y por consiguiente los estados de maduración por los que atraviesa la fruta bomba (var. Maradol Roja).

- El empleo de la red neuronal Perceptron multicapa para el trabajo con los modos de color permitió determinar el IC* de la fruta en toda la imagen y definir los estados de maduración alcanzando un valor de r igual a 0,98% entre los valores obtenidos con Photoshop y con el sistema automatizado propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANCETA, J. y PÉREZ-RODRIGO, C., *Maduración de la Fruta*, 8pp., III MASSON, ISBN 9788445816691, Barcelona, España, 2006.
- BUITRAGO, G.V., LÓPEZ, A.P., CORONADO, A.P. & OSORNO, F.L.: *Determination of physical characteristics and mechanical properties of potatoes cultivated in Colombia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (on line). ISSN: 1807-1929, 8(1): 102-110 [en línea] 2004, Disponible en: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=SI415=43662004000100015&script=sciarttext> [Consulta: 10 de febrero de 2015].*
- DUFOSSE, L., GALAUP, P., CARLET, E., FLAMIN, C. & VALLA, A.: "Spectrocolorimetry in the CIE L* a* b* color space as useful tool for monitoring the ripening process and the quality of PDO red-smear soft cheeses", *Food research international*, ISSN: 0963-9969, 38(8): 919-924, 2005.
- GALVÁN, I. & ISASI, P.: "Multi-step learning rule for recurrent neural models: and application to time series forecasting", *Neural Processing Letters*, ISSN: 1370-4621, 13:115-133. 2001.
- GIL, R. J.A.: "Evaluación de calidad en segmentación de imágenes" *CENATAV*, ISSN: 2072-6287, RNPS No. 2142, La Habana, Cuba, 2011.
- ISASI, P. y GALVÁN, I.: *Redes neuronales artificiales—un enfoque práctico*, Departamento de Informática. Universidad Carlos III, Pearson-Prentice Hall, ISBN: 84-2054025-0. Madrid, España.
- JACOBSON, I. y BOOCH, G.: *El proceso unificado de desarrollo de software*, pp. 4, Editado por: Addison-Wesley, Cerro, Narciso, ISBN 84-7829-036-2, Madrid. España, 2000.
- LEON, K., MERY, D., PEDRESCHI, F. & LEON, J.: "Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images", *Food research international*, ISSN: 0963-9969, 39(10): 1084-1091, 2006.
- MATICH, D.J.: *Cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos—Orientación Fac. Regional Rosario. Argentina. I [en línea] 2001, Disponible en: www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras.../matich-redesneuronales.pdf [Consulta: 10 de febrero de 2015].*
- PARADING, V.: *Free: Visual Paradigm Training-Visual Paradigm Essential. Univ. Cantabria-Fac. de Ciencias, España. [en línea] 2010, Disponible en: <http://www.visual-paradigm.com/training/visual-paradigm-essential/> [Consulta: 10 de febrero de 2015].*
- PERALES, E.: *Sobre los colores óptimos y sus aplicaciones en visión y tecnología del color. Doctoral, Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante, España [en línea] 2009, Disponible en: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13878/1/Tesis_Perales.pdf [Consulta: 10 de febrero de 2015].*
- REMÓN y GARCÍA: "Estado de arte sobre los métodos de detección de características locales" *CENATV*, ISSN 2072-6287, RNPS 2142, La Habana. Cuba, 2010.
- SCHMULLER, J.: *Aprendiendo UML en 24 horas*, pp. 6-10, Prentice Education, 4 ed. ISBN: 234-5678-12, México, 2004.
- SOLIVA-FORTUNY: "Effect of minimal processing on the texture propertiss of fresh-cut pears", *J. Sci Food Agric.*, ISSN: 0022-5142, 82: 1862-1688, 2002.
- STAN, Z., «*Handbook of face recognition*». Springer-Verlag, ISBN 038740595X, London, England, 2005.
- VIGNONI, L. y CESARI, R.: "Determinación de índice de color en ajo picado", *Información tecnológica*, ISSN: 0716-8756, E-ISSN: 0718-0764, 17: 63-67, 2006.
- WYSZECKI, G. & STILES, W.: *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd Edition. National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada [en línea] 1982, Disponible en: <http://www.gbv.de/dms/ilmnau/toc/025263196.PD>. [Consulta: 10 de febrero de 2015].*

Recibido: 02 de marzo de 2015.

Aprobado: 13 de noviembre de 2015.

Publicado: 30 de diciembre de 2015.

Minelkis Machado Molina, Profesor Instructor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería Informática, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP: 32700. Correo electrónico: minelkis_machado@unah.edu.cu
Annia García Pereira, Universidad Agraria de La Habana. Correo electrónico: annia@unah.edu.cu
Neili Machado García, Universidad Agraria de La Habana. Correo electrónico: neili@unah.edu.cu