

AP02 - Estimación del Índice de Color de los Cítricos utilizando dispositivos móviles

Cubero, S.¹, Albert, F.², García Fernández-Pacheco, D.³, Prats-Moltalbán, J.M.⁴, Blasco, J.¹, Aleixos, N.²

¹ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera, Km 5, 46113 Moncada, Valencia, España. e-mail: {cubero_ser, [blasco_josiva](mailto:blasco_josiva@gva.es)}@gva.es ² Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. e-mail: {fraalgi1, [naleixos](mailto:naleixos@dig.upv.es)}@dig.upv.es ³ Departamento de Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Cronista Isidoro Valverde, 30202 Cartagena, Murcia, España. e-mail: daniel.garcia@upct.es ⁴ Grupo de Ingeniería Estadística Multivariante, Departamento de Estadística e IO Aplicadas y Calidad. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. e-mail: jopramon@eio.upv.es

Resumen

Los primeros cítricos se recolectan en España antes de que hayan alcanzado su típico color naranja. Sin embargo, para su llegada al mercado es necesario que alcancen un cierto color comercial, por lo que la fruta se somete a ciertos tratamientos de desverdizado cuya duración depende de su color en el momento de recolección medido según estándar Índice de Color de los Cítricos (ICC). Para estimar este índice, las frutas se comparan con unas tarjetas de colores que representan la piel de cítricos con diferentes índices o se utilizan colorímetros. Para facilitar la medida de este índice, se ha desarrollado una aplicación gratuita para dispositivos móviles basados en Android que utiliza técnicas de procesamiento de imágenes utilizando la cámara incorporada en el dispositivo. Las imágenes de un fruto se analizan en vivo para obtener su ICC. Para ello, se calcula el valor promedio de las coordenadas de color RGB (rojo, verde, azul) de un área circular preseleccionada en la imagen y se transforma al espacio de color HunterLab para finalmente calcular el ICC. Para validar este método, se realizaron varias pruebas tanto en campo como en condiciones de laboratorio con diferentes variedades de naranjas (Navel, Bonanza, Cram y Navelina) en diferentes estados de madurez, y se utilizaron diferentes dispositivos Android con diversas características. Las mediciones obtenidas se compararon con los resultados proporcionados por un colorímetro ampliamente utilizado en la industria para esta tarea. Los valores de R^2 obtenidos oscilaron entre el 0,96 y el 0,98 dependiendo de las cámaras de los dispositivos móviles probados, lo que muestra la robustez y fiabilidad de la aplicación móvil desarrollada para ser utilizada como ayuda en la toma de decisiones sobre la recolección o desverdización de estas frutas.

Palabras clave: Análisis de imagen, desverdización, postcosecha, condiciones de campo, nuevas tecnologías.

Estimation of the Citrus Colour Index using mobile devices

Abstract

The first citrus fruits harvested in Spain before they have reached their typical orange. However, before being sent to market, it is necessary that the fruit reaches a certain commercial color, so the fruit is subjected to treatments of degreening whose duration depends on its color at harvest according to standard Citrus Color Index (ICC). To estimate this index, fruits are compared with charts representing the citrus skin with different colour indices or colorimeters are used to determine the colour. In order to facilitate the estimation of this index, a free application that uses image processing techniques has been developed for Android-based mobile devices using the built-in camera of the device. Images of a fruit are captured and analyzed in-vivo to obtain the ICC. For this, the average value of the colour coordinates (red, green, blue) of a circular spot in the image is calculated and transformed into the HunterLab color space to calculate finally the ICC. In order to validate this method, several tests were carried out in both, the field and under laboratory conditions with different varieties of oranges (Navel, Bonanza, Cram and Navelina) at different stages of maturity, and using different Android devices. The measurements obtained were compared to the results provided by a colorimeter. The R^2 values obtained ranged from 0.96 to 0.98 for the different tested mobile devices, showing the robustness and reliability of the

mobile-based application developed to be used to assist in the decision making about the harvesting time or treatment of these fruits.

Keywords: Image analysis, degreening, postharvest, in-field conditions, new technologies.

Justificación

Uno de los principales atributos que un cliente tiene en cuenta a la hora de elegir un producto agroalimentario es el color, ya que directamente lo asocia a la frescura o madurez del mismo (Campbell *et al.*, 2004). El caso de los cítricos no es una excepción. Normalmente, los cítricos se recolectan de forma manual, se cargan en cajas y se transportan a almacenes frutícolas, donde la fruta es tratada, clasificada y almacenada hasta su venta. Sin embargo, la recolección depende directamente del estado de madurez de la fruta, sobre todo al inicio de la campaña, y el principal indicador que se utiliza es su color. Según sea este, la fruta tendrá un tratamiento en los almacenes, ya que la fruta que no ha alcanzado un color comercial debe someterse a tratamientos de desverdizado en cámaras. La duración de estos tratamientos dependerá de su grado de madurez, por lo que es importante estimarlo. El índice de color de los cítricos (ICC) es uno de los principales parámetros utilizados en la industria cítrica para determinar cuándo se debe recolectar o qué tipo de tratamiento precisa la fruta (Jimenez-Cuesta *et al.*, 1981).

Habitualmente, en la industria se utilizan colorímetros, que son dispositivos electrónicos específicos que miden el color y lo expresan como coordenadas numéricas (Gardner, 2007). Estos dispositivos, manejables y muy precisos (Figura 1.a), tienen una pequeña zona de medida donde una luz es reflejada sobre la superficie del objeto y recibida en un sensor. Precisamente, uno de los principales problemas que tiene es su pequeña zona de medida, lo que hace que el valor medido no sea representativo en frutas con color poco homogéneo. Otro problema es la esfericidad de la fruta, que complica a menudo la medida. Y otra gran desventaja es el alto precio de estos dispositivos.

Para simplificar el cálculo del ICC, el Departamento de Poscosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) editó un conjunto de tarjetas con texturas de color para naranjas y mandarinas (Figura 1.b), que permite una comparación visual de la superficie de cítricos colocándola dentro de una ventana circular, y así estimar el valor del ICC de dicho fruto impreso en cada tarjeta (DOGV, 2006).



Figura 1. a) Colorímetro y b) tarjetas editadas por el IVIA

Sin embargo, una alternativa para estimar estos valores de una forma más exacta es por medio de técnicas de análisis de imágenes utilizando cámaras, que proporcionan datos más precisos y objetivos que los perceptuales propios del ser humano. De esta forma se puede analizar una mayor superficie o incluso el objeto entero, siendo un método más adecuado sobre todo para casos en los que la superficie de la fruta tiene un color heterogéneo (Cubero *et al.*, 2011; Lorente *et al.*, 2012). Para lograrlo, sería necesaria una cámara de color conectada a un ordenador personal que a partir de las imágenes adquiridas mostrara por la pantalla el resultado proporcionado por los algoritmos de análisis de las imágenes. Este sistema se muestra muy efectivo para estimar el ICC de la fruta ya recolectada y depositada en un almacén, pero imposibilitaría su uso en el campo para estimar el momento preciso de la recolección.

Por otra parte, los dispositivos móviles se utilizan cada vez más en la vida diaria. Hoy en día es poco habitual encontrar a alguien que no posea un dispositivo móvil inteligente. Algunos de estos dispositivos ofrecen una potencia similar a la de un ordenador personal pero en un espacio muy reducido y funcionando en modo portátil y autónomo. Además, dos de los principales avances que ofrecen es, por un lado la incorporación de sensores que permiten su utilización en multitud de circunstancias y por el otro la posibilidad de instalación de aplicaciones que a menudo hacen uso de estos sensores.

En otros trabajos se han utilizado dispositivos móviles para estimar parámetros de calidad de fruta, como por ejemplo la madurez del plátano en función de su color en condiciones de iluminación controladas (Intaravanne *et al.*, 2012) utilizando la cámara incorporada en un teléfono o Gómez-Robledo *et al.* (2013) que implementaron una aplicación para estimar el color del suelo implementando un modelo de color Munsell mediante un teléfono móvil. Estas aplicaciones utilizan el teléfono como un sistema de visión, pero funcionan en modo fuera de línea y con condiciones de iluminación controladas, es decir, almacenan los datos de la cámara en el dispositivo para su posterior procesamiento. La aplicación desarrollada en este trabajo, sin embargo, utiliza todo el potencial del móvil y lo utiliza como un sistema de visión real en línea, capturando imágenes en vivo y analizándolas a la vez para calcular y mostrar el ICC de los frutos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, en este trabajo se propone una alternativa que combina todas las ventajas mostradas y además añade una mayor comodidad, permitiendo la estimación del ICC en cualquier momento y lugar. La aplicación desarrollada, implementada para dispositivos que cuentan con sistema operativo Android, utiliza por un lado la potencia de computación del dispositivo móvil junto con el uso de su cámara, ofreciendo un sistema de visión en línea, permitiendo capturar imágenes en vivo y analizándolas en tiempo real para calcular y mostrar en su pantalla el ICC de los frutos.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo se han utilizado dispositivos Android, librerías gráficas de código abierto OpenCV, el kit de desarrollo de software (SDK) para Android y el entorno de programación Eclipse, utilizando el lenguaje Java. La razón para seleccionar Android como el sistema operativo se debe a su aplicación generalizada en la mayoría de los dispositivos móviles (Puder y Antebi, 2013) y que permite utilizar y programar código abierto utilizando una licencia libre.

La interfaz de la aplicación (Figura 2) muestra la zona de tarjetas y opciones (a la izquierda) y la zona de captura de imagen (a la derecha). A la izquierda se encuentra una muestra de la vista previa de las tarjetas con las texturas de colores aprobados y su valor prefijado del ICC (Figura 1.b) para poder visualizarlas en la zona de captura y realizar una comparación visual con la muestra a través del círculo de imagen ajustable en tamaño, del mismo modo que con las tarjetas reales. En la parte superior de la zona de captura se muestra el ICC estimado e información de otros espacios de color, concretamente RGB, XYZ, Lab y HSI. Resulta interesante la posibilidad de visualizar los valores en distintos espacios de color para poder comparar con los resultados obtenidos por cámaras o colorímetros.

El análisis de las imágenes se lleva a cabo únicamente en el área donde se visualiza la muestra, esto es, en el círculo de captura, independientemente de la superposición o no de texturas en pantalla. En este área circular se muestra la imagen en vivo y sobre ella toda la información acerca del ICC de todos los píxeles que pertenecen a este área. La información relacionada con otros espacios de color se muestra únicamente si se han seleccionado en el menú de *Preferencias*.

El proceso para obtener el ICC comienza con el cálculo del valor medio RGB de todos los píxeles del área de captura. Este valor se convierte al espacio de color XYZ usando las ecuaciones descritas por Mendoza *et al.* (2006), y finalmente los valores XYZ se convierten en los espacios de color HSI y HunterLab, usando las ecuaciones correspondientes al iluminante D65 y observador 10° descritas en HunterLab (2008). Una vez que se realiza esta conversión, el ICC se calcula utilizando la Ecuación (1), donde L, a, b son las coordenadas del espacio de color HunterLab.

$$ICC = \frac{1000*a}{L*b} \quad (1)$$

El ICC también podría obtenerse calculando los ICC correspondientes a cada píxel y posteriormente la media de todos ellos, pero esto tiene un coste computacional muy elevado y el resultado se demostró prácticamente el mismo (Vidal *et al.*, 2013; Cubero *et al.*, 2014).



Figura 2. Captura de la interfaz de la aplicación con una tarjeta seleccionada y una muestra

Por lo tanto, la aplicación se encuentra continuamente realizando capturas de imágenes de la cámara, y para cada una de ellas extrae la zona circular de interés donde está la muestra, calcula el valor RGB medio, lo convierte al espacio de color XYZ y posteriormente a Lab (y HSI solo si está seleccionado). Finalmente se calcula el valor

del ICC según la Ecuación (1) a partir de las coordenadas Lab y se muestran en pantalla los resultados.

Además, la aplicación permite guardar toda esta información en la memoria del dispositivo, capturando la pantalla con el resultado de la medición y/o las imágenes originales capturadas por la cámara, todas ellas en formato gráfico JPG. Para ello simplemente hay que tocar la zona de captura y la aplicación almacena las imágenes automáticamente.

Como se ha comentado anteriormente, existen multitud de dispositivos que tienen distinto hardware de adquisición y que cuentan con variadas configuraciones. En este trabajo se han utilizado cuatro dispositivos distintos, con características de hardware muy diferentes, para comprobar el funcionamiento de la aplicación. Concretamente se han utilizado los dispositivos que se muestran en la Tabla 1, todos ellos con versiones de Android 4 o superior.

Tabla 1. Dispositivos utilizados para probar la aplicación desarrollada

| <i>Dispositivo</i> | <i>Móvil Samsung S-III</i> | <i>Móvil Samsung S-III mini</i> | <i>Tablet Samsung Tab-2</i> | <i>Tablet Ampe A78</i> |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| <i>Cámara</i> | <i>8 MP</i> | <i>5 MP</i> | <i>3 MP</i> | <i>2 MP</i> |
| <i>Flash</i> | <i>LED</i> | <i>LED</i> | <i>NO</i> | <i>NO</i> |
| <i>Bloqueo Tpo. exposición</i> | <i>SI</i> | <i>NO</i> | <i>SI</i> | <i>NO</i> |
| <i>Bloqueo Balance de blancos</i> | <i>SI</i> | <i>NO</i> | <i>SI</i> | <i>NO</i> |

Por lo tanto, el objetivo principal del trabajo es determinar si el sistema puede utilizarse potencialmente para calcular el ICC ampliamente utilizado por los productores y comprobar la precisión alcanzada por esta aplicación móvil cuando se trabaja en condiciones de campo y con diferentes dispositivos móviles.

Para llevar a cabo el trabajo, se ha utilizado un colorímetro Minolta CR-300 similar al de la Figura 1.a, a modo de referencia para el cálculo del color y un sistema de iluminación integrado en una campana cerrada (Figura 3) compuesto por ocho tubos fluorescentes de 18 W (luz de día) alimentados por balastos electrónicos para evitar el efecto de parpadeo y los filtros de polarización cruzada entre la cámara y los tubos para evitar brillos sobre la superficie de los objetos, todo ello para comprobar el efecto de la iluminación en exteriores y en un ambiente de luz controlado.

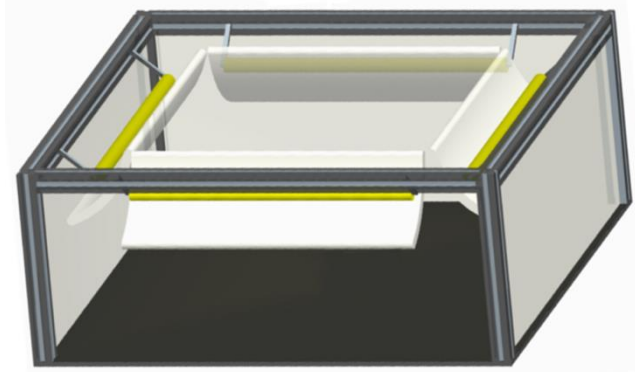


Figura 3. Campana con iluminación controlada

Respecto del material biológico, para la realización de los experimentos se han utilizado dos conjuntos de fruta. El primero consistió en un grupo de 55 naranjas de distintos cultivares recolectados en parcelas del IVIA, concretamente Navelate, Bonanza, Cram y Oronules, en diferentes etapas de madurez y que presentan variedad de color (Figura 4) con el fin de cubrir la mayor parte de las posibilidades que se pueden encontrar en el campo. Cada fruta se etiquetó en el propio árbol y se midió su color utilizando la aplicación desarrollada con los cuatro dispositivos móviles. Posteriormente se recolectó dicha fruta y se repitió la medición en condiciones de laboratorio, tanto con los dispositivos móviles como con el colorímetro. El segundo conjunto consistió en 60 naranjas de los mismos cultivares y en diferentes estados de madurez, de modo similar al conjunto anterior.

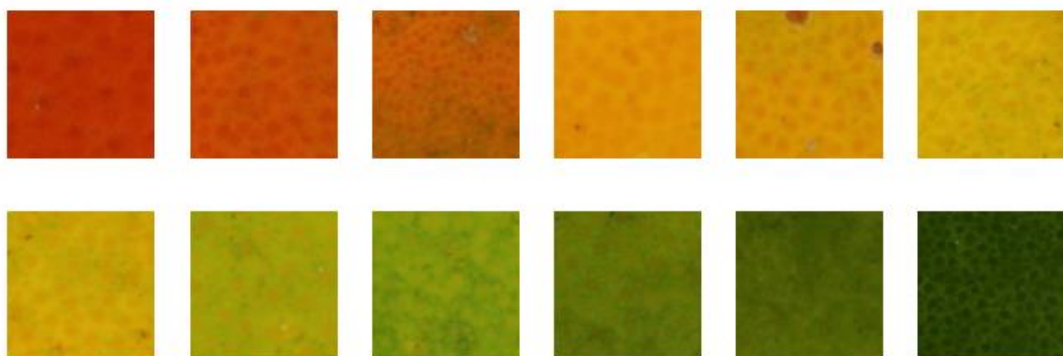


Figura 4. Muestras representativas del color de la fruta utilizada para los experimentos

En este trabajo se realizaron varios estudios con los siguientes objetivos principales y las pruebas para llevarlos a cabo:

1. Determinar el comportamiento de los dispositivos móviles en condiciones de campo respecto del colorímetro: se midió el ICC para cada fruta en el árbol (fruta del primer conjunto) y se calculó utilizando los cuatro dispositivos móviles, con y sin flash. Se realizaron un total de cuatro mediciones del ICC con cada dispositivo. Estas mediciones se compararon con los obtenidos a partir del colorímetro en condiciones de laboratorio, donde se realizaron de la misma forma cuatro mediciones.
2. Determinar el comportamiento de los dispositivos móviles en condiciones de iluminación controladas respecto del colorímetro: se midió el ICC para cada fruta recolectada (del primer conjunto) y se midió con los cuatro dispositivos móviles sin utilizar el flash y bajo iluminación controlada. La comparación se realizó del mismo modo que anteriormente con el colorímetro.

- Determinar el comportamiento de los dispositivos móviles respecto de un grupo de expertos utilizando las tarjetas de texturas: se midió el ICC para cada fruta recolectada (del segundo conjunto), se midió con los cuatro dispositivos móviles sin utilizar el flash y bajo iluminación controlada, y se compararon los datos con los obtenidos por un panel de expertos que utilizaba las tradicionales tarjetas de texturas.

Ya que algunos de los dispositivos utilizados durante el estudio no permiten la posibilidad de bloquear los modos automáticos de balance de blancos y tiempos de exposición, se desactivaron estas características para todos los dispositivos.

Los valores de ICC calculados para cada fruta y mediante el uso de los diferentes dispositivos móviles se compararon con los obtenidos utilizando la referencia apropiada, como se ha comentado anteriormente. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando modelos de regresión múltiple (Montgomery, 2005) utilizando el software Statgraphics Centurion (StatPoint Technologies, USA).

Resultados y Discusión

Dispositivos móviles en condiciones de campo vs colorímetro

Una forma de evaluar la bondad del método propuesto cuando se trabaja con diferentes dispositivos y bajo diferentes condiciones consiste en comparar el valor del coeficiente de determinación R^2 de los modelos de Regresión Múltiple entre cada una de las cámaras de los dispositivos y el colorímetro. Este coeficiente indica o se refiere a la proporción de los valores del ICC que pueden ser predichos por el modelo. Esto se logra mediante el cálculo de diferentes modelos de regresión, utilizando los valores del ICC obtenidos con el colorímetro como variables dependientes y los valores del ICC estimados por las diferentes cámaras como variables independientes. Los valores de R^2 para las diferentes cámaras se muestran en la primera fila de la Tabla 2. Estos resultados muestran la capacidad que poseen las cámaras de los dispositivos para reproducir los valores del ICC obtenidos con el colorímetro, teniendo en cuenta que los valores del ICC del colorímetro se obtienen en condiciones de laboratorio y que sólo estiman el color de una zona muy pequeña (prácticamente un punto).

Dispositivos móviles en condiciones de laboratorio vs colorímetro

Utilizando el mismo conjunto de frutas y los mismos dispositivos que en el ensayo de campo, se repitió el proceso en laboratorio con condiciones de iluminación controladas para analizar en qué medida la luz ambiente es responsable de los anteriores valores de R^2 . La segunda fila de la Tabla 2 muestra los valores de R^2 entre cada una de las cámaras de los dispositivos y el colorímetro obtenidos en condiciones de laboratorio. En este caso, se obtienen valores de R^2 superiores a 0,81, lo que indica una clara relación entre los dos tipos de mediciones.

Tabla 2. R^2 para los diferentes dispositivos tanto en condiciones de campo como de laboratorio

| Dispositivo | <i>Móvil Samsung S-III</i> | <i>Móvil Samsung S-III mini</i> | <i>Tablet Samsung Tab-2</i> | <i>Tablet Ampe A78</i> |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Cond. campo | 0,76 | 0,75 | 0,76 | 0,67 |
| Laboratorio | 0,85 | 0,87 | 0,90 | 0,81 |

Con el objetivo de comparar entre los distintos dispositivos, se ha realizado un Análisis de la Varianza (ANOVA) sobre los valores de R^2 , utilizando como factores el tipo de cámara y las condiciones de realización del ensayo. Ambos factores presentan diferencias estadísticamente significativas para un riesgo de tipo I (alfa) de 0,05. A partir de las correspondientes Diferencias Menos Significativas (LSD) se observa que para ambos factores podemos apreciar que el ensayo en condiciones de laboratorio proporciona valores más altos de R^2 que los obtenidos en condiciones de campo (Figura 5), que parece que está directamente relacionado con las condiciones de iluminación.

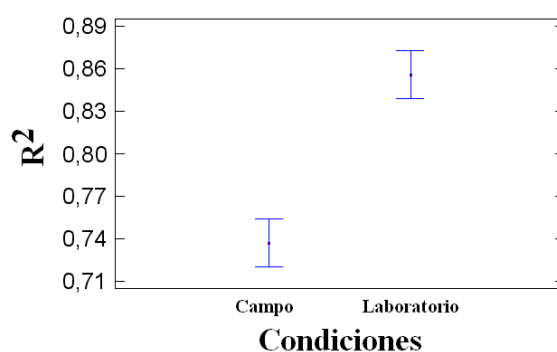


Figura 5. Gráfico LSD de valores de R^2 (eje y) en diferentes condiciones (eje x)

Dispositivos móviles en condiciones de laboratorio vs panel de expertos

Utilizando el otro conjunto de 60 frutas y los mismos dispositivos que en los ensayos anteriores, se repitió el proceso anterior con condiciones de iluminación controladas. Los resultados se compararon con los obtenidos por un panel formado por dos expertos en las mismas condiciones controladas.

En los modelos de regresión realizados, todos los dispositivos mostraron valores de R^2 por encima de 0,96, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. La Tabla 3 muestra los resultados para los modelos de regresión para las diferentes cámaras utilizadas. Además, no sólo los valores de R^2 son superiores a 0,96, la desviación estándar media es de 1,78, con valores que van desde -16 a 27. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los valores discretos de las tarjetas de texturas introducen una fuente adicional de variabilidad en los datos en relación con las discontinuidades en las predicciones. Es decir, las tarjetas de texturas dan valores discretos ya que los expertos clasifican la fruta en un grupo específico cuando el color de dicho fruto es cercano al color de una tarjeta de textura o a otro, por lo que el ICC es únicamente indicativo para realizar los tratamientos de desverdización correspondientes. Estos resultados validan la capacidad de la aplicación para proporcionar los valores del ICC de forma absolutamente fiable en un modo de funcionamiento normal.

Tabla 3. R^2 y desviación estándar resultado de la regresión múltiple proporcionados por los expertos y los diferentes dispositivos en las mismas condiciones de laboratorio

| <i>Dispositivo</i> | <i>Móvil Samsung S-III</i> | <i>Móvil Samsung S-III mini</i> | <i>Tablet Samsung Tab-2</i> | <i>Tablet Ampe A78</i> |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| R^2 | 97,36 | 98,26 | 96,01 | 97,87 |
| <i>Desv. Est.</i> | 1,79 | 1,46 | 2,20 | 1,54 |

Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado y probado con éxito una aplicación que trabaja con las cámaras incorporadas en los dispositivos móviles y que funcionan como un sistema portátil de visión por computador que permite medir el ICC de forma automática, durante la cosecha o tras la recolección. Las principales ventajas que aporta son la portabilidad del sistema, la fácil accesibilidad a estos sistemas y su simplicidad de uso, permitiendo una estimación del color de los cítricos en el campo para ayudar en la toma de decisiones de cuándo recolectar y qué procesos de desverdizado aplicar.

Esta aplicación puede instalarse en cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android y no requiere apenas interacción del usuario ni precisa calibración previa. Se trata de una característica fundamental ya que ninguna aplicación desarrollada para dispositivos móviles ofrece un modo de funcionamiento on-line, sin entrenamiento del sistema, permitiendo así que cualquier usuario pueda utilizar fácilmente la aplicación.

Para comprobar el funcionamiento de la aplicación, se realizaron tres ensayos cuyo objetivo fue comparar los valores del ICC obtenidos por los dispositivos móviles bajo condiciones de campo y de laboratorio, y éstos últimos respecto de colorímetros y tarjetas de texturas utilizadas por expertos. En el primero se compararon los resultados obtenidos por la aplicación desarrollada tanto en condiciones de campo como de laboratorio, obteniendo unos valores de R^2 cercanos a 0,75. En el segundo, se compararon los valores de la aplicación en condiciones de laboratorio respecto del colorímetro, obteniendo valores R^2 entre 0,80 y 0,90, dependiendo de la calidad del dispositivo. El tercer ensayo consistió en comparar los valores obtenidos por la aplicación en condiciones de laboratorio respecto de los datos proporcionados por dos expertos utilizando las tarjetas de texturas, obteniendo valores de R^2 mayores a 0,96. Estos resultados se presentan prometedores y muestran la robustez de la aplicación, lo que demuestra la viabilidad de un sistema de visión por computador para dispositivos móviles para inspeccionar el color de los cítricos en línea en condiciones de campo para ayudar en la toma de decisiones de la cosecha, lo que presenta un gran avance en el sector agroalimentario.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el INIA a través de los proyectos de investigación RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03 con el apoyo de los fondos europeos FEDER, y la colaboración UPV-IVIA mediante el convenio de colaboración UPV-2013000005.

Bibliografía

- Campbell, B.L., Nelson, R.G., Ebel, C.E., Dozier, W.A., Adrian, J.L., Hockema, B.R., 2004. Fruit quality characteristics that affect consumer preferences for satsuma mandarins. *HortScience*, Vol. 39(7), 1664-1669.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4(4), 487-504.
- Cubero, S., Aleixos, N., Albert, F., Torregrosa, A., Ortiz, C., García-Navarrete, O., Blasco J., 2014 Optimised computer vision system for automatic pre-grading of citrus fruit in the field using a mobile platform. *Precision Agriculture*, Vol. 15(1), 80-94.
- DOGV, 2006. Diari Oficial de la Comunitat Valenciana, Vol. 5346, 30321-30328.
- Freeman, H., 1961. On the encoding of arbitrary geometric configurations. *IEEE Trans. Elect. Computers*, Vol. 10, 260-268.
- Gardner, J.L., 2007. Comparison of calibration methods for tristimulus colorimeters. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Vol. 112, 129-138.
- Gómez-Robledo, L., López-Ruiz, N., Melgosa, M., Palma, A.J., Capitán-Vallvey, L.F., Sánchez-Marañón, M., 2013. Using the mobile phone as Munsell soil-colour sensor: An experiment under controlled illumination conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 99, 200–208.
- HunterLab, 2008. Applications note, 8(9), disponible en: <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/203997085-Hunter-L-a-b-Color-Scale-an08-96a>. Accedido en Abril de 2015.
- Intaravanne, Y., Sumriddetchkajorn, S., Nukeaw, J., 2012. Ripeness Level Indication of Bananas with Visible and Fluorescent Spectral Images. *IEEE 978-1-4673-2025-2/12*.
- Jiménez-Cuesta, M.J., Cuquerella J., Martínez-Jávega, J.M., 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In *Proc. of the International Society of Citriculture*, Vol. 2, 750-753.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J., 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 5(4), 1121-1142.
- Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J.M., 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 41, 285-295.
- Montgomery, D.C., 2005. *Design and analysis of experiments*, 6th ed. Tempe: Wiley.
- Puder, A., Antebi, O., 2013. Cross-compiling Android applications to iOS and Windows Phone 7. , *Mobile Netw. Appl.*, Vol. 18, 3–21.
- Vidal, A., Talens, P., Prats-Montalbán, J.M., Cubero, S., Albert, F., Blasco, J., 2013. In-Line Estimation of the Standard Colour Index of Citrus Fruits Using a Computer Vision System Developed For a Mobile Platform. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 6, Issue12, pp. 3412-3419.