

Sensor RGB para detectar cambios de color en piel de frutas

RGB sensor for detect changes in skin color of fruits

José David Filoteo-Razo*, Julián Moisés Estudillo-Ayala*, Juan Carlos Hernández-García**, Daniel Jáuregui-Vázquez*, Roberto Rojas-Laguna*, Francisco Javier Valle-Atilano*, Luis Fernando Sámano-Aguilar*

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sensor óptico para detectar los cambios de color en frutas por medio de reflexión de la luz incidente de una fuente de luz blanca, con la finalidad de utilizarlo en la medición de la madurez en frutas y en aplicaciones industriales o agrícolas. El sistema está constituido mediante un arreglo de *light-emitting diodes* (LED) rojo, verde y azul (RGB, por sus siglas en inglés), fotodetectores, una fuente de corriente y fibra óptica plástica. Por medio de una interfaz gráfica diseñada en Labview® es posible controlar la potencia de emisión de los diodos de una manera digital, mezclando los colores mediante diferentes intensidades, logrando una fuente de luz blanca que servirá como fuente para el sensor de color. Utilizamos un microcontrolador ATmega2560 como dispositivo de adquisición de datos para monitorear los colores obtenidos y mostrarlos en modelos de color usando Matlab®. Mostramos pruebas realizadas con dos muestras de frutos de guayaba, observando la evolución del cambio de color de la piel del fruto hasta que evidencie condiciones de sobremadurez.

ABSTRACT

In this work an optical sensing setup is designed and implemented to estimate the ripening in fruits. Here by white light reflected signal the color fruit can be calculated to provide information about the fruit condition. The main components in the proposed system are red, green and blue (RGB) module, photodetector and an optical plastic fiber. Moreover the sensing system is compact and versatile, due to the light signal used in the system can me adequate according to some fruit requirements by using a Labview interface, besides the detection and result displaying is proposed by a microcontroller device and Matlab interface. In order to demonstrated the system proposed a guava fruit was used to show the evolution color changes during its ripeness.

INTRODUCCIÓN

Los sensores RGB (rojo, verde y azul, por sus siglas en inglés) permiten distinguir colores a partir de la extracción de información de la luz utilizando tres sensores acoplados que realizan la separación de la luz incidente en sus componentes rojo, verde y azul. De esta forma se pueden calcular las coordenadas cromáticas partiendo de la radiación reflejada y compararlas con los colores de referencia previamente almacenados. Para determinar qué colores se están captando, se utilizan modelos de color, ya que éstos hacen posible la representación de los colores de forma numérica; un ejemplo de modelo de color son RGB y HSV (saturación y brillo, por sus siglas en inglés).

Recibido: 29 de junio de 2015
Aceptado: 29 de enero de 2016

Palabras clave:

Sensor de color; LED RGB; fuente de corriente digital.

Keywords:

RGB LED current source; photodetector; RGB color.

Cómo citar:

Filoteo-Razo, J. D., Estudillo-Ayala, J. M., Hernández-García, J. C., Jáuregui-Vázquez, D., Rojas-Laguna, R., Valle-Atilano, F. J., & Sámano-Aguilar, L. F. (2016). Sensor RGB para detectar cambios de color en piel de frutas. *Acta universitaria*, 26(NE-1), 24-29. doi: 10.15174/au.2016.859

* Departamento de Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carretera Salamanca-Valle de Santiago km. 3.5+1.8, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Guanajuato, México, C.P. 36885. Correo electrónico: jd.filoteorazo@ugto.mx

** Dirección Adjunta de Desarrollo Científico, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Avenida Insurgentes Sur núm. 1582, Crédito Constructor, Ciudad de México, D.F., México, C.P. 03940.

El modelo de coordenadas RGB está basado en un modelo de triestímulos y síntesis aditiva; esto representa tres planos de colores RGB. El modelo *Commission Internationale de l'Eclairage Hunter Lab* (CIE- $L^*a^*b^*$) se utiliza para lograr una percepción uniforme del color. Este modelo de coordenadas permite que los colores se representen en el espacio a unas distancias proporcionales a las diferencias visuales entre ellos y es más recomendado para las mediciones industriales del color de objetos (Castro, 2013).

Últimamente se han utilizado estos sensores para la detección de cambios de color en la cosecha de frutas, siendo un factor primordial para obtener una estimación de la maduración y, por lo tanto, la duración de almacenamiento del fruto. Pueden ser evaluados a través de equipos comerciales para medición de color, los cuales están limitados para los agricultores, por lo que puede resultar de costo elevado y de difícil acceso.

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* en una muestra se puede designar: L^* la luminosidad (0 = negro y 100 = blanco), siendo a^* y b^* las coordenadas cromáticas rectangulares (+ a = rojo y - a = verde/+ b = amarillo y - b = azul). La cromaticidad (C^*) indica qué tan intenso es un color en una escala del 1 al 100, donde este último valor expresa la mayor pureza (Castro, 2013; Rich, 2002).

El objetivo de este sensor es describir la evolución del color de la piel de la guayaba durante la maduración y sobremaduración, por medio del sensor implementado, y comparar los resultados con una cámara *charge-coupled device* (CCD) con modelo de color CIE- $L^*a^*b^*$ (Bora, Lin, Bhattacharya, Kaur & Pathak, 2015; Han & Hayes, 1990; Lee, Chang, Archibald & Greco, 2008; Nimesh, Delwiche & Johnson, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo del dispositivo

El dispositivo electrónico ha sido desarrollado con base en una tarjeta Arduino Mega que cuenta con un microcontrolador ATmega2560 para el control de la corriente y adquisición de datos de los fotodetectores. En la figura 1 se muestra el diagrama a bloques del dispositivo para el sensor de color.

Para el control de la corriente se empleó un control *pulse-width modulation* (PWM). El funcionamiento del PWM es el encendido y apagado de la corriente del *light-emitting diode* (LED) en periodos de tiempo. Se

recomienda que el encendido/apagado sea más rápido que el tiempo de respuesta del ojo humano, y no provocar efectos de parpadeo (normalmente más de 100 Hz) para el control del LED. La fuente de luz utiliza un LED RGB para la generación de luz blanca. Esta técnica RGB permite tener una eficiencia más elevada debido a que toda la energía producida es utilizada para generar luz.

Interfaz de control

La corriente de los LED RGB es controlado por un panel frontal, desarrollado en Labview®, que muestra tres controles de desplazamiento que permiten seleccionar un valor de 8 bits (0 a 255) para el control del PWM. También se exhibe el resultado de la combinación del valor del PWM de los tres LED y la temperatura del LED en tiempo real, como se muestra en la figura 2.

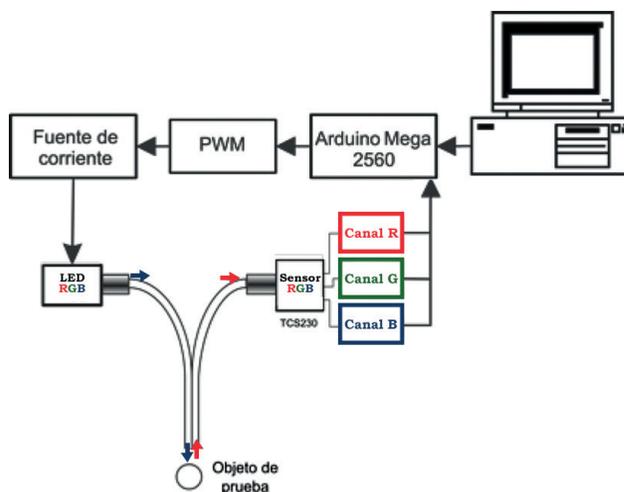


Figura 1. Diagrama a bloques del dispositivo para el sensor de color para un objeto de prueba.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Panel frontal de control de corriente y temperatura del LED RGB.

Fuente: Elaboración propia.

Fotodetector RGB

El transductor utilizado es el módulo TCS230 de la marca TAOS, el cual incluye un arreglo de fotodetectores como elemento de sensado (Datasheet, 2011). El módulo cuenta con cuatro entradas digitales a través de las cuales es posible escalar la frecuencia de salida del sensor y seleccionar el filtro RGB que se desea utilizar. Este transductor combina los fotodiodos de silicio con un convertidor de frecuencia a corriente en un circuito integrado monolítico *complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) (Datasheet, 2011). La salida del sensor es una onda cuadrada con un ciclo de trabajo del 50%, cuya frecuencia es proporcional a la intensidad de la luz.

Funcionamiento del dispositivo

El sensor de color consiste en una fuente de luz blanca desarrollada por medio del LED RGB, una fibra óptica plástica como guía de onda (sensores extrínsecos) y de un transductor con fotodetectores. Estos sensores extrínsecos consisten en una guía de onda que transporta la radiación emitida por una fuente de luz a la muestra (Castrellon-Urbe, 2012; Olsen, 1990), y posteriormente es reflejada por la propia muestra y enviada por otra fibra óptica plástica hacia el transductor que contiene un arreglo cuadrado de 64 fotodiodos distribuidos de modo uniforme, conteniendo tres grupos de fotodiodos para los colores primarios rojo, verde y azul. Estos fotodiodos son seleccionados a través de las señales de control. La salida del módulo consiste, entonces, de una señal cuadrada con frecuencia proporcional a la intensidad del color seleccionado. El sensor convierte la luz que sensa en una señal de frecuencia. Internamente la frecuencia se compara y corrige con respecto a la frecuencia teórica deseada, correspondiente al color (Datasheet, 2011). En la salida del sensor se obtiene una señal cuadrada con un ciclo de trabajo de 50% con una frecuencia (f_0) que es directamente proporcional a la intensidad de la luz, dada por la ecuación (1):

$$f_0 = f_D + (R_e \cdot E_e), \quad (1)$$

donde f_0 es la salida de la frecuencia; f_D es la salida de la frecuencia para condiciones oscuras ($E_e = 0$); R_e es la respuesta del dispositivo para una longitud de onda dada de luz en $\text{kHz}/(\text{mW}/\text{cm}^2)$; E_e es la irradiancia incidente en mW/cm^2 . Como se muestra en la ecuación anterior, esta frecuencia representa un término independiente de la luz en la frecuencia de la producción total para f_0 . Como f_0 es directamente proporcional a la frecuencia, es posible establecer una relación entre la frecuencia y el valor de color RGB (0 - 255 para cada uno de R, G y B) usando interpolación lineal. Caracterizando el

sensor se obtienen las ecuaciones (2, 3 y 4) para los tres filtros de color, donde CD representa el código digital de 8 bits. Con estas ecuaciones se podrá obtener el color del objeto a medir, consiguiendo el resultado del color en 8 bits.

$$C_{\text{Rojo}} = 25.49 \cdot CD + 500, \quad (2)$$

$$C_{\text{Verde}} = 28.8745 \cdot CD + 509, \quad (3)$$

$$C_{\text{Azul}} = 27.046 \cdot CD + 510.2. \quad (4)$$

Los recursos disponibles del sistema Arduino Mega ATmega2560 permiten su conexión como tarjeta *Data Acquisition* (DAQ), capturando los datos del modelo en Matlab® y enviando el color en formato numérico RGB. La figura 3 muestra el diagrama de bloques de la programación de la interfaz en 8 bits.

Para esta investigación se utilizó guayaba en dos estados de desarrollo: una en recolección temprana en estado verde y otra en estado de maduración. En estos casos se recolectaron frutos sanos de tamaño homogéneo. Se realizaron pruebas de medición de color hasta que las frutas mostraran madurez para la guayaba en estado verde y otro en estado de sobremadurez para la guayaba madura. Se efectuaron cinco mediciones de las frutas para promediar su color.

Para la secuencia de evolución del color se obtuvo la respuesta de los fotodetectores al rotar la muestra de 0° a 360° , con una distancia de captura de 3 mm y con un diámetro de iluminación de 1 cm. Utilizando la caracterización de los colores por medio del Arduino Mega, se obtuvieron las coordenadas del espacio RGB y en el programa Matlab® se presentó el color. Para comparar el color se obtuvieron imágenes digitales de cada muestra analizada en formato *Joint Photographic Experts Group* (JPEG) de 3456×2592 (Sony modelo DSC-H50) a una distancia de captura de 25 cm; la iluminación se realizó con lámparas fluorescentes ubicadas a una distancia de 1.5 m. Las imágenes se procesaron mediante el *software* de Matlab®, promediando los píxeles de las imágenes para determinar la cantidad de color en RGB.

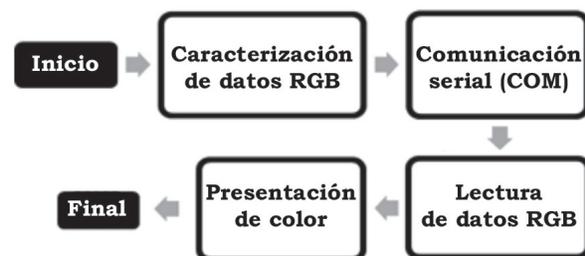


Figura 3. Diagrama a bloques de la interfaz de resultado del color. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presenta la evolución de las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de la guayaba desde el estado verde, en condiciones ambientales, temperatura 25 °C, como puede observarse; la coordenada L^* (luminancia) indica una tendencia en la piel del fruto hacia colores claros a medida que avanzó la maduración. En la figura 4 se muestra la evolución del color de las imágenes obtenidas de la cámara CCD.

En la figura 5 se muestra la evolución del color en coordenadas colorimétricas de a^* y b^* . La coordenada a^* (variación de color rojo-verde) evolucionó de valores negativos a cercanos a cero, lo que indica disminución paulatina del color verde por madurez del fruto, mientras que la coordenada b^* (variación del color amarillo-azul) presentó incremento hacia el amarillo; y en relación con la cromaticidad (C^*), los valores indicaron una tendencia a mantener el color de la piel de los frutos con colores vivos.

En la figura 6 se muestra la evolución del color de las imágenes obtenidas de la cámara CCD de la guayaba desde el estado maduro. En la tabla 2 se presenta la evolución de las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de la guayaba en estado maduro, en condiciones ambientales, temperatura 25 °C, como puede observarse, la coordenada L^* (luminancia) indica una tendencia en la piel del fruto, teniendo un progreso de colores verdes claros a color amarillos oscuros.

En la figura 7 se muestra la evolución del color en coordenadas colorimétricas de a^* y b^* . Puede observarse un comportamiento similar a la guayaba en estado verde con las mismas condiciones de almacenamiento; el valor de la coordenada a^* se incrementó al transcurrir el tiempo, indicando que a medida que avanza la maduración se aleja del verde oscuro, mientras que la coordenada b^* presentó incremento hacia el amarillo.

Tabla 1.

Evolución de las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ de la guayaba desde el estado verde, en condiciones ambientales, temperatura 25 °C.

Días/coordenadas	1	4	6	8	11
L^*	78.241	87.661	87.521	86.408	79.922
a^*	-27.111	-26.38	-13.211	-11.539	-8.096
b^*	60.011	66.204	56.125	54.344	49.047

Fuente: Elaboración propia.

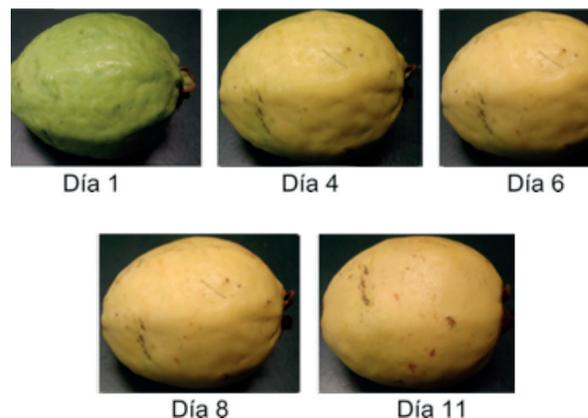


Figura 4. Evolución del color por medio de las imágenes obtenidas con la cámara CCD de la guayaba en estado verde al estado de maduración.
Fuente: Elaboración propia.

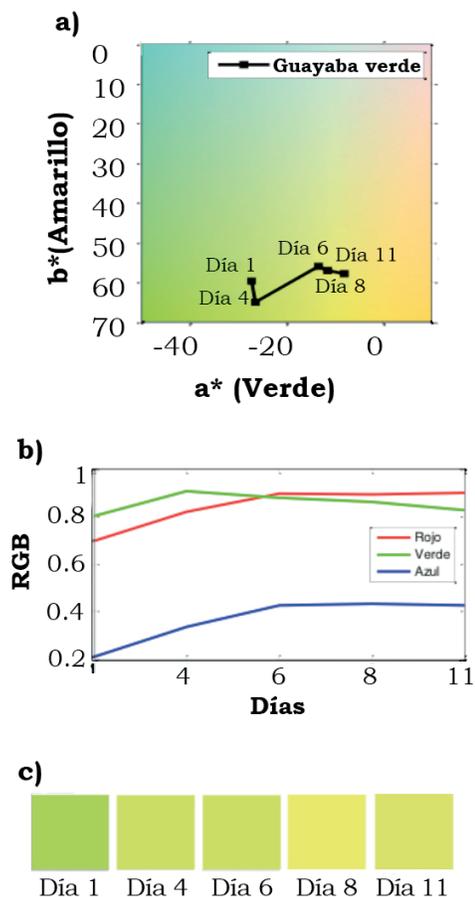


Figura 5. Evolución del color de la piel en guayaba desde el estado verde en: a) coordenadas colorimétricas a^* y b^* , b) en formato RGB y c) carta de colores digitales.

Fuente: Elaboración propia.

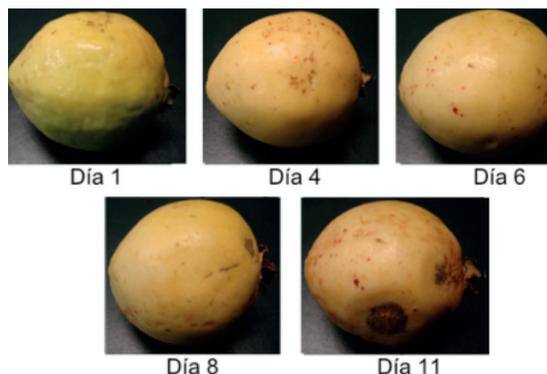


Figura 6. Evolución del color por medio de las imágenes obtenidas con la cámara CCD de la guayaba desde el estado maduro.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.

Evolución de las coordenadas CIE-L*a*b* de la guayaba desde el estado maduro, en condiciones ambientales, temperatura 25 °C.

Días/coordenadas	1	4	6	8	11
L*	87.184	92.255	91.338	81.239	78.867
a*	-17.114	-16.696	-15.672	-5.500	-1.294
b*	61.409	67.356	61.588	59.690	60.152

Fuente: Elaboración propia.

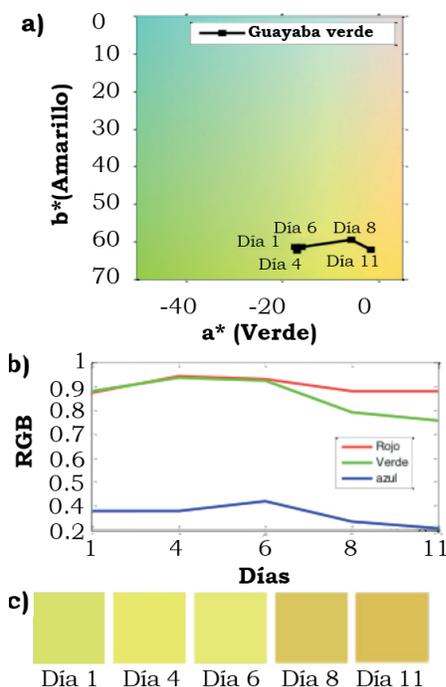


Figura 7. Evolución del color de la piel en guayaba desde el estado maduro en: a) coordenadas colorimétricas a* y b*, b) en formato RGB y c) carta de colores digitales.
Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En la figura 8 se registra la gráfica de error relativo porcentual usando la ecuación 5, donde se compararon los valores del modelo RGB medidos con el sensor con el promedio de los pixeles de las imágenes obtenidas con la cámara CCD.

$$Er (\%) = \left| \frac{x^{imagen} - x^{Medidos}}{x^{Medidos}} \right| \times 100\% \quad (5)$$

Los resultados conseguidos con el instrumento muestran error de precisión de 3% de promedio al detectar los cambios de color. Al medir el color de la guayaba se presentó una evolución desde el verde intenso hacia colores verde amarillo claro en pruebas realizadas. El uso de la fibra óptica permite tener una señal de bajo ruido y alta sensibilidad. La evolución del color de la guayaba presentado en coordenadas colorimétricas a* y b* se puede observar que, en los dos casos de prueba, el color evolucionó desde verde intenso hacia colores amarillos.

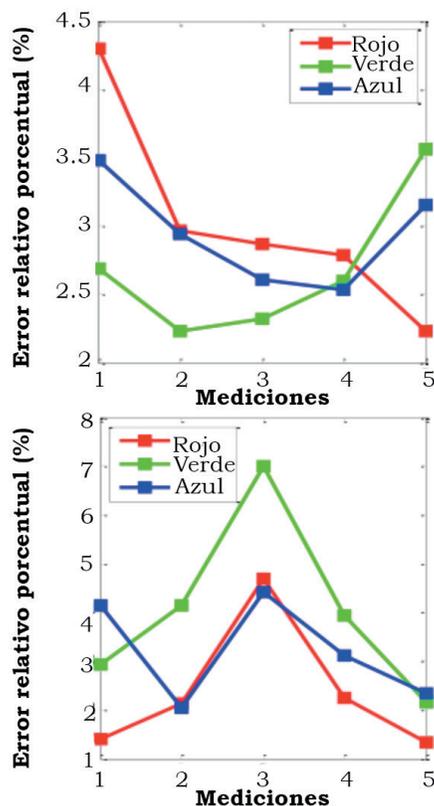


Figura 8. Error relativo porcentual de la guayaba verde muestra un promedio de error de rojo de 3.03%, verde de 2.68% y azul de 2.94% y error relativo porcentual de la guayaba madura muestra un promedio de error de rojo de 2.36%, verde de 4.03% y azul de 3.21%.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

Se presentó un prototipo para estimar el color y tener una referencia de éste, desarrollado con base en un sensor de color RGB que cuenta con fotodetectores, orientado para la detección de color en maduración de frutas, en este caso de prueba para guayabas. Los resultados muestran un buen nivel de detección de color al compararlo con una cámara CCD. La digitalización de imágenes es un buen método para realizar medidas de color, ya que, a diferencia de los métodos colorimétricos que realizan una única medida en una cierta zona, se puede tener un objetivo de las zonas de interés y evitar las zonas de interferencia (manchas en los frutos) que puedan alterar estas mediciones.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado (DAIP) de la Universidad de Guanajuato por el apoyo brindado al proyecto núm. 436/2014; al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el proyecto núm. 166361 y a la División de Ingeniería del Campus Irapuato-Salamanca por las instalaciones.

REFERENCIAS

Bora, G. C., Lin, D., Bhattacharya, P., Kaur Bali, S., & Pathak, R., (2015). Application of Bio-Image Analysis for Classification of Different Ripening Stages of Banana. *Journal of Agricultural Science*, 7(2), 152-160.

Castrellon-Urbe, J. (2012). Optical Fiber Sensors: An Overview. *Fiber Optic Sensors*. En Y., Moh, W. H., Sulaiman & A., Hamzah (Eds.), *Fiber Optic Sensors* (pp. 1-22). Rijeka, Croatia : Publisher InTeach.

Castro Camacho, J. (2013). Determinación de color del exocarpo como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* cv. guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA*, 10(19), 79-89.

Datasheet atmel (2011). *8-bit Atmel Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-System Programmable Flash. ATmega640V, ATmega1280V, ATmega1281V, ATmega2560V, ATmega2561V. Datasheet*. Recuperado el 30 de octubre de 2014 de http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf

Han, Y. J., & Hayes, J. C. (1990). Soil cover determination using color image analysis. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 33(4), 1402-1408.

Lee, D. J., Chang, Y., Archibald, J. K., & Greco, C. G. (August, 2008). Color Quantization and Image Analysis for Automated Fruit Quality Evaluation (pp. 194-199). 4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering. Key Bridge Marriott, Washington DC, USA.

Nimesh, S., Delwiche, M. J., & Johnson, R. S. (1993). Image analysis methods for real-time color grading of stonefruit. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9(1), 71-84.

Olsen, E. D. (1990). *Métodos ópticos de análisis*. España: Reverte Editorial.

Rich, D. (2002). *Colour Engineering: Achieving device independent colour*. *Phil Green Colour Imaging*. USA: John Wiley & Sons.