



Índice de carotenoides de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) basado en la medición de color, utilizando imágenes hiperspectrales y digitales

Index of carotenoids of bell pepper (*Capsicum annuum*) based on color measurement, using hyperspectral and digital images

 Adamary C. Paredes O.; Jennifer Y. Peche B.; Noemí León R. * 

Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

Received February 15, 2019. Accepted December 21, 2019.

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar métodos no destructivos basados en la medición de color en cinco grados de madurez (100% verde (M1), 10% a 30% de madurez (M2), 40% a 60% de madurez (M3), 70% a 90% de madurez (M4) y 100% maduro (M5) de pimiento morrón mediante el uso de imágenes hiperspectrales en rango visible (Vis) desde 380 a 750 nm (37 bandas espectrales) e imágenes digitales (RGB) y su conversión al espacio de color CIELAB. Los pimientos fueron recolectados en diferentes grados de madurez desde el color verde hasta el rojo completamente, los parámetros de calidad de clorofila y carotenoides totales fue determinado mediante método espectrofotométrico y su contenido fue correlacionado con los datos espectrales y de espacio de color CIELAB. El índice espectral (CRI_{700}) mostró una correlación positiva de 0,915 ($p < 0,01$) con respecto al contenido de carotenoides y una correlación negativa de -0,972 respecto al contenido de clorofila y la variable a^* (verde – rojo) con el contenido de carotenoides mostró una correlación positiva de 0,949 ($p < 0,01$) y negativa de -0,968 con clorofila. Concluyendo que estos métodos permitirían analizar muestras intactas de pimiento morrón en distintos grados de madurez.

Palabras clave: pimiento morrón; índice de carotenoides; análisis de imagen; visión computacional.

Abstract

The objective of the study was to evaluate non-destructive methods based on the measurement of color at five degrees of maturity (100% green (M1), 10 - 30% maturity (M2), 40% to 60% maturity (M3), 70% to 90% maturity (M4) and 100% mature (M5) bell pepper by using hyperspectral images in visible range (Vis) from 380 to 750 nm (37 spectral bands) and digital images (RGB) and its conversion to space of CIELAB color. The peppers were collected in different degrees of maturity from green to red completely, the quality parameters of chlorophyll and total carotenoids was determined by spectrophotometric method and its content was correlated with spectral and color space data CIELAB. The spectral index (CRI_{700}) showed a positive correlation of 0.915 ($p < 0.01$) with respect to the content of carotenoids and a negative correlation of -0.972 with respect to the content of chlorophyll and variable a^* (green-red) with the content of carotenoids showed a positive correlation of 0.949 ($p < 0.01$) and negative correlation of -0.968 with chlorophyll. Concluding that these methods would allow to analyze intact samples of red pepper in different degrees of maturity.

Keywords: red pepper; carotenoid index; image analysis; computational vision.

1. Introducción

En las frutas y vegetales, el color se debe a tres familias de pigmentos que son: clorofilas, antocianinas y carotenoides, responsables de la coloración verde, de azul a violeta y de rojo a amarillo, respectivamente (Minguez *et al.*, 2005). Estos compuestos

son importantes por sus propiedades nutricionales (Loizzo *et al.*, 2015), la concentración inicial de estos pigmentos está relacionada con el estado de madurez (González, 2010) y con la calidad de los alimentos frescos y procesados (Vásquez, 2015). Dentro de las hortalizas que presentan

How to cite this article:

Paredes, A.; Peche, J.; León, N. 2019. Índice de carotenoides de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) basado en la medición de color, utilizando imágenes hiperspectrales y digitales. Scientia Agropecuaria 10(4): 531-539.

* Corresponding author
E-mail: noemileon26@gmail.com (N. León).

estos beneficios podemos encontrar a los pimientos morrones (*Capsicum annuum*), que poseen una gran variabilidad genéticas y una amplia gama de colores debido a la variación en la concentración de pigmentos, los frutos de *Capsicum spp.* son sitios especialmente ricos para la síntesis y acumulación de carotenoides (Kilcrease et al., 2015). Además de ser caracterizado por su elevado contenido de compuestos fitoquímicos, con alta capacidad antioxidante, siendo una de las hortalizas más ricas en vitamina C (Fray et al., 2008; Baenas et al., 2019; Dereje, 2003; Asnin et al., 2015) los pimientos ocupan un lugar predominante en todo el mundo por su valor nutricional dietética (Schmilovitch et al., 2014).

Actualmente, los sistemas de visión basados en el color son muy frecuentes en las líneas de clasificación, siendo un método no destructivo y rápido (Velásquez et al., 2017) reemplazando a los métodos tradicionales o instrumentos con limitaciones de alcance (Leme et al., 2019); pero el parámetro de color solo no lo hace proporcionar una determinación confiable de la madurez (Costa et al., 2011). El análisis químico de la concentración de clorofilas y los carotenoides están avanzando grandemente, la técnica de medición más usado es la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) (Xie et al., 2019; Patsilnakos et al., 2018) que proporciona un alto nivel cuantitativo y cualitativo, que requiere una alta precisión en la preparación de la muestra y costosos procedimientos operativos (Biehler et al., 2010), HPLC es el método habitual de referencia utilizado para la separación y cuantificación de colorantes, pero es costoso, consume mucho tiempo y utiliza solventes, a veces tóxicos (Vidal et al., 2018).

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas de inspección basado en imágenes como las imágenes hiperespectrales para evaluar la calidad de una variedad de alimentos que han superado los inconvenientes de las técnicas instrumentales (Aredo et al., 2017). Siendo una alternativa al ser una tecnología de análisis no destructivo (Siche et al., 2016), herramienta de uso rápido y no invasivo (Feng et al., 2018), permite el análisis de pigmentación, en la etapa de madurez de frutos (Schmilovitch et al., 2014).

En la investigación alimentaria, el color se representa con frecuencia utilizando el CIELAB o espacio de color $L^*a^*b^*$, ya que los resultados coinciden con los de la percepción humana. L^* es el componente de luminancia o luminosidad que va de 0 (negro) a 100 (blanco), y los parámetros a^*

(de verde a rojo) y b^* (de azul a amarillo) son los dos componentes cromáticos, que varían de -120 a +120 (Lu y Mendoza, 2015). El uso de imágenes digitales de color, utilizando el procesamiento y análisis de imágenes, resulta más rápida para la medición del color (León et al., 2016; Costa et al., 2015; Sanaeifar et al., 2016; Vidal et al., 2018).

Este trabajo propone medir el índice de carotenoides del pimiento morrón en diferentes grados de madurez mediante un índice espectral (Carotenoid Reflectance Index, CRI₇₀₀) a través de una imagen hiperespectral y correlacionar con los parámetros de calidad carotenoides totales y clorofila total, así como convertir las características de color RGB (rojo, verde y azul) al espacio de color CIEL^{*}a^{*}b^{*}.

2. Materiales y métodos

Muestras

Se utilizaron frutos de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) provenientes del distrito de Lagunas, provincia de Chiclayo, región Lambayeque, se seleccionaron teniendo en cuenta que estén frescos, sin golpes, ni magulladuras y se clasificaron en diferentes grados de madurez (verde a maduro), 100% verde (M1), 10 – 30 % de madurez (M2), 40 - 60% de madurez (M3), 70 - 90% de madurez (M4) y 100 % maduro (M5), cada muestra con un peso de 200 gramos (g) aproximadamente. Las muestras fueron trasladadas en caja tecnopor con gel refrigerante para el análisis respectivo.

Adquisición, procesamiento y análisis de imágenes

Se utilizó un sistema de formación de imágenes hiperespectral Resonon - Pika L (Figura 1) e imágenes digitales utilizando un teléfono móvil XIAOMI – POCOPHONE F1 con doble cámara (cámaras traseras 12 megapíxeles + 5 megapíxeles) y cámara frontal (20 megapíxeles).

Adquisición de imágenes hiperespectrales

Las muestras de pimiento fueron utilizadas para la adquisición de las imágenes, las imágenes fueron adquiridas y digitalizadas mediante un sistema que se compone de hardware y software; la cámara hiperespectral Pika L, sistema de escaneo y computadora permiten iniciar el software SpectrononPro.

Previo a la adquisición de las imágenes se realizó la calibración con el SpectrononPro eliminando la corriente de ruido oscuro, se inicia bloqueando toda la luz que ingrese al Espectrómetro de imágenes, la corrección de efecto de iluminación se realizó colocando un material de referencia (teflón) dentro

del campo de visión del Espectrómetro de imágenes Pika L (Resonon, 2016); antes de escanear las imágenes de las muestras de pimienta se ingresó la cantidad de líneas a escanear (600 de número de líneas).

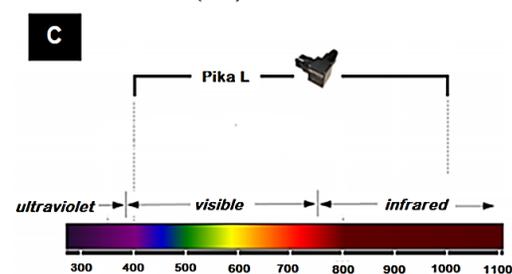
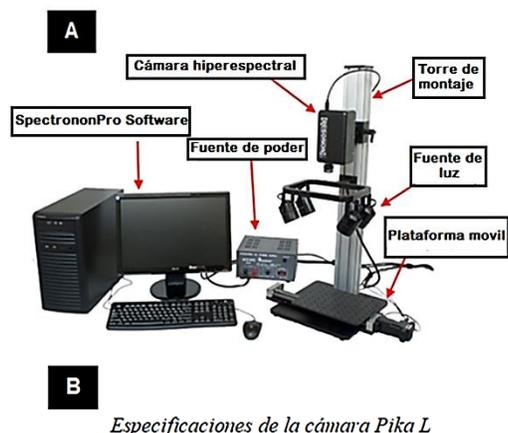


Figura 1. Equipo del sensor o cámara hiperespectral Pika L (A), Especificaciones de la cámara (B) y Rango hiperespectral (C). (Resonon Inc., 2016).

Se tomaron imágenes hiperespectrales (cubos) de 384 a 1011 nm de longitud de onda a intervalos de 10 nm (60 bandas espectrales) y se registraron los cubos de datos de cada muestra a través del programa SpectronPro, la imagen del datacube se almacenó en formato BIL (banda intercalada por línea) (Figura 2).

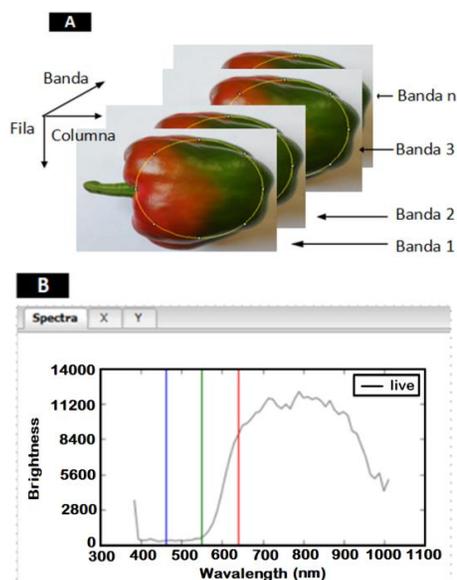


Figura 2. Cubo hiperespectral (A) y Firma Espectral (B).

Identificación de la región de interés (ROI) y extracción de datos espectrales

Se seleccionó un ROI rectangular a cada una de las muestras en forma individual, también se seleccionó los espectros de las regiones espaciales que representa la muestra completa y se hizo un muestreo de seis regiones rectangulares de cada muestra obteniendo en cada región de interés (ROI) el espectro medio para cada una de las cinco muestras de pimienta morrón. El ROI se seleccionó utilizando el software SpectronPro (Resonon, 2016).

Análisis hiperespectral

Permite procesar las imágenes de las muestras de pimienta morrón (Resonon, 2016); con el fin de extraer información útil de la imagen, los espectros medios de los píxeles del rectángulo, de todos los píxeles de cada una de las muestras y los espectros promedio de seis regiones de interés (ROI) rectangular fueron guardados en formato de documento de texto, la luminosidad fue convertida a reflectancia utilizando el factor de la escala de reflectancia = 10 000 y se obtuvo los perfiles espectrales de cada una de las bandas espectrales de las muestras de pimienta morrón de cinco grados de madurez en el rango visible (Vis) desde 380 a 750 nm como se presenta en la Figura 4.

Se seleccionaron las bandas que proporcionen la información suficiente del pimienta morrón correspondiente a los espectros de 510 y 700 nm de las regiones segmentadas de cada muestra para el cálculo del Índice de Reflectancia de carotenoides (Carotenoid Reflectance Index CRI₇₀₀).

Determinación del Índice de Carotenoides

La reflectancia obtenida de las bandas seleccionadas de 510 y 700 nm de longitud de onda se utilizaron para determinar el índice espectral: Índice de Reflectancia de Carotenoides (Carotenoid Reflectance Index CRI_{700}) (Zhou *et al.*, 2017).

Se calculó utilizando la ecuación de Gitelson *et al.* (2002):

$$CRI_{700} = \frac{1}{R_{510}} - \frac{1}{R_{700}} \quad (1)$$

Dónde: CRI_{700} es el índice de reflectancia de carotenoides a 700 nm, R_{510} es la reflectancia a longitud de onda de 510 nm y R_{700} es la reflectancia a longitud de onda de 700 nm.

Luego de calcular los valores de CRI_{700} se correlacionó con los valores cuantitativos de los carotenoides totales y clorofila total, para realizar esta correlación se hizo uso del coeficiente de correlación de Pearson.

Adquisición de imágenes digitales

Las imágenes de las muestras fueron adquiridas con un teléfono móvil, utilizando iluminación natural (León *et al.*, 2019) sobre una superficie de fondo blanco tomadas a una altura de 18 cm todas las muestras por triplicado, las imágenes se tomaron de una de las superficies, se guardó en formato JPG en un ordenador a 960x1280 píxeles en el sistema RGB para representar imágenes en color.

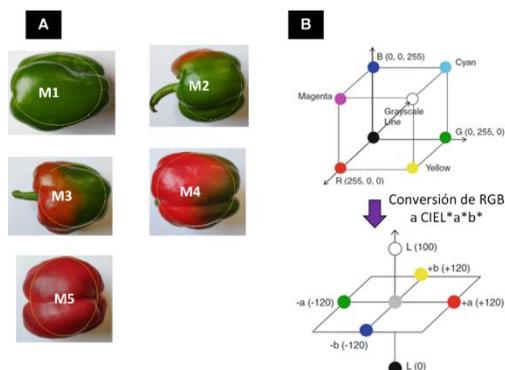


Figura 3. Foto de las muestras de cinco grados de madurez de pimiento morrón en estudio. Muestras intactas tomadas con teléfono móvil XIAOMI – POCOPHONE F1 con doble cámara (cámaras traseras 12 megapíxeles + 5 megapíxeles) y cámara frontal (20 megapíxeles), utilizando iluminación natural (A) modelo RGB utilizado para la conversión al espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ (B).

Análisis de imagen digital

Para el análisis se han tomado 15 muestras de los diferentes grados de madurez del pimiento morrón, así como se presenta en la Figura 3(A) imágenes digitales de muestras representativas, los valores de RGB fueron medidos utilizando un software libre

ImageJ (<http://imagej.nih.gov/ij/>) para ello se seleccionó la región de cada una de las muestras en forma individual para ser procesadas, evaluando las muestras en el Programa ImageJ, el software carga la imagen y permite delimitar el área a ser procesada, finalmente se obtiene los valores en RGB (características de color) (León *et al.*, 2016), para la Conversión de RGB a CIE Lab, se utilizó un aplicativo móvil Color Grab para cada uno de los valores de RGB y se convirtió al espacio de color CIELAB, como se aprecia en la Figura 3(B).

Cuantificación de carotenoides y clorofila

Preparación de las muestras: realizado la toma de las imágenes, los pimientos se colocaron en bandejas de poliestireno, cubiertas con film y se congelaron a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un congelador, las muestras congeladas se cortaron manualmente la parte correspondiente a la imagen adquirida con la cámara hiperespectral y teléfono móvil y se liofilizó (secado en frío) en el liofilizador (BioBase, MO, USA), para evitar perder los carotenoides así como la clorofila que está presente en la muestra, se molió en un molino universal de 20 000 RPM, y se empacó en films herméticos debido a que las muestras liofilizadas son higroscópicas, y captan humedad y se almacenó a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la extracción.

Extracción: Las muestras liofilizadas se extrajeron en metanol al 100% (10 mg/mL) en agitación constante a 1400 rpm x 15 minutos a temperatura ambiente. Seguidamente los extractos crudos se centrifugaron a 10 000 g x 2 min a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, los sobrenadantes se colectaron en tubos eppendorf de 2 ml y almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis y cuantificación.

Cuantificación: El contenido de clorofila y carotenoides totales se determinaron por espectrofotometría adaptado a un lector de placa multipocillos Synergy HT Multi-Mode Microplate Reader (Biotek, Rochester, VT, USA) (Lichtenthaler, 1987). Los espectros de absorción de 200 μL de los extractos se adquirieron en el rango de 400–800 nm a intervalos de 1 nm. Los espectros se deconvolucionaron empleado un procedimiento residual usando una línea base lineal, suavizado con un filtro FFT y el modelo del programa estadístico PeakFit v.4.12 software (Systat Software, Inc., USA). El contenido de clorofila (a, b y total) y el total de carotenoides se calcularon usando las ecuaciones 2-5 (Lichtenthaler, 1987), y las absorbancias obtenidas de los espectros deconvolucionados.

$$C_a = 16.72A_{665.2\text{ nm}} - 9.16A_{652.4\text{ nm}} \quad (2)$$

$$C_b = 34.09A_{652.4\text{ nm}} - 15.28A_{665.2\text{ nm}} \quad (3)$$

$$C_T = C_a + C_b \quad (4)$$

$$Car_T = \frac{1000A_{470\text{ nm}} - 1.63C_a - 104.96C_b}{221} \quad (5)$$

Dónde: C_a , C_b y C_T son los contenidos de clorofila a, b y total en mg/mL, respectivamente; Car_T es el contenido de carotenoides totales en mg/mL. A es la absorbancia.

Análisis estadístico

Se aplicó la correlación de Pearson para verificar la correlación entre los parámetros analizados: Índice espectral (Carotenoid Reflectance Index CRI_{700}) con los parámetros de calidad (carotenoides totales y clorofila total), estableciendo valores de significación en $p < 0,01$ para establecer diferencias estadísticas se utilizó el software IBM SPSS Statistics versión 25 y para el análisis gráfico se utilizó GraphPad Prism versión 7.00 para Windows.

3. Resultados y discusión

Análisis de imagen hiperespectral

En la **Figura 4** se presenta el perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales de cinco grados de madurez de pimiento morrón, considerando las bandas de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo-rojo (pigmento carotenoides). La curva de reflectancia en la banda de 640 nm es similar a la curva de reflectancia reportado por [Patsilinakos et al. \(2018\)](#) para contenido de carotenoides en berries.

Se observa en ambas figuras que la muestra M1 tiene una mayor reflectancia en la banda 550 nm, en las muestras M2 y M3 existe un descenso de esta banda y un

incremento progresivo en la banda 640 nm de las muestras M4 y M5, similar a lo reportado por [Schmilovitch et al. \(2014\)](#).

Índice espectral (CRI_{700}) y cuantificación de clorofila total y carotenoides totales

En la **Tabla 1** se muestra los valores del índice de reflectancia espectral de cinco grados de madurez del pimiento morrón, calculados mediante la ecuación (1) utilizando los espectros medio obtenidos mediante el software Spectrononpro, que se representa como Índice de Reflectancia de Carotenoides (CRI_{700}) ([Resonon, 2016](#)).

De la **Tabla 1** y **Figura 5(A)** se observa que a medida que el pimiento morrón (*Capsicum annuum*) madura el Índice de reflectancia espectral (Carotenoid Reflectance Index 700 – CRI_{700}) aumenta, así mismo, la cantidad de carotenoides totales (mg/g) aumenta, mientras que el contenido de clorofila totales (mg/g) disminuye hasta llegar a cero (0), tal como lo mencionan [Schmilovitch et al. \(2014\)](#), [González \(2010\)](#) y [Minguez \(2005\)](#), esto se debe a que durante la maduración se producen la síntesis de los pigmentos carotenoides, este proceso está acompañado por una disminución de la clorofila, de la degeneración de los cloroplastos en cromoplastos, el contenido de carotenoides y clorofila en los pimientos varían de acuerdo a la genética y maduración, esto significa que a medida que madura el fruto la concentración de carotenoides aumenta mientras que el contenido de clorofila disminuye.

El valor del índice espectral (CRI_{700}) está relacionado con los índices de reflectancia espectral medidas en diferentes longitudes de onda ([El-Hendawy et al., 2015](#)), estos valores se relacionan con la cantidad de carotenoides contenida en cada una de las muestras evaluadas, como se presenta en la **Tabla 1**.

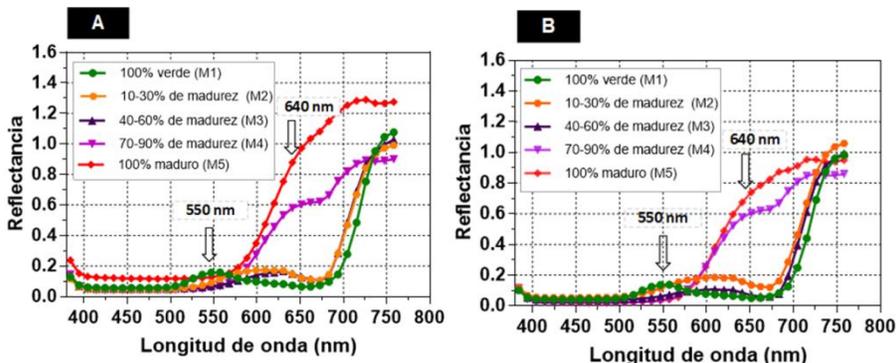


Figura 4. Perfil de Reflectancia en función de las Bandas Espectrales de cinco grados de madurez de pimiento morrón (M1, M2, M3, M4 y M5), banda de 550 nm corresponde al espectro de reflectancia del color verde (pigmento clorofila) y 640 nm corresponde a la reflectancia del color amarillo-rojo (pigmento carotenoides). Bandas espectrales promedio de regiones de interés (ROI) rectangular y regiones completas (A) y bandas espectrales promedio de seis regiones de interés (ROI) rectangular (B).

Tabla 1

Valores promedio de los parámetros de medición de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) de diferentes grados de madurez

Grado de Madurez	Índice espectral (CRI ₇₀₀)	Clorofila total ¹ (mg/g)	Carotenoides totales ¹ (mg/g)
100% verde (M1)	11,15	177,29±3,664	80,51±2,975
10 – 30 % de madurez (M2)	12,89	130,15±5,087	74,13±3,023
40 - 60% de madurez (M3)	20,04	83,72±1,923	75,50±2,928
70 - 90% de madurez (M4)	39,95	10,28±0,225	138,35±0,254
100 % maduro (M5)	41,00	0,00±0,000	193,13±8,791

Nota: Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar. ¹ la muestra en base seca.

Tabla 2

Características de color RGB y espacio de color CIELAB de los grados de madurez de pimiento morrón (*Capsicum annuum*)

Características de color RGB	Grado de Madurez				
	100% verde (M1)	10% a 30% de madurez (M2)	40% a 60% de madurez (M3)	70% a 90% de madurez (M4)	100% maduro (M5)
R	58,566±0,554	62,539±0,782	102,771±0,888	156,741±0,936	153,870±4,458
G	90,689±1,086	85,509±1,165	64,403±0,394	47,863±0,507	45,719±2,091
B	17,734±0,241	11,385±0,258	17,578±0,285	37,715±0,187	47,956±1,794
Espacio de color CIELAB					
L*	34,800±0,455	33,300±0,356	31,000±0,082	36,800±0,163	35,933±1,302
a*	-24,267±0,450	-20,333±0,450	12,233±0,450	44,533±0,519	44,833±0,634
b*	35,867±0,613	36,767±0,386	33,700±0,163	31,867±0,205	24,467±0,801

Nota: Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar.

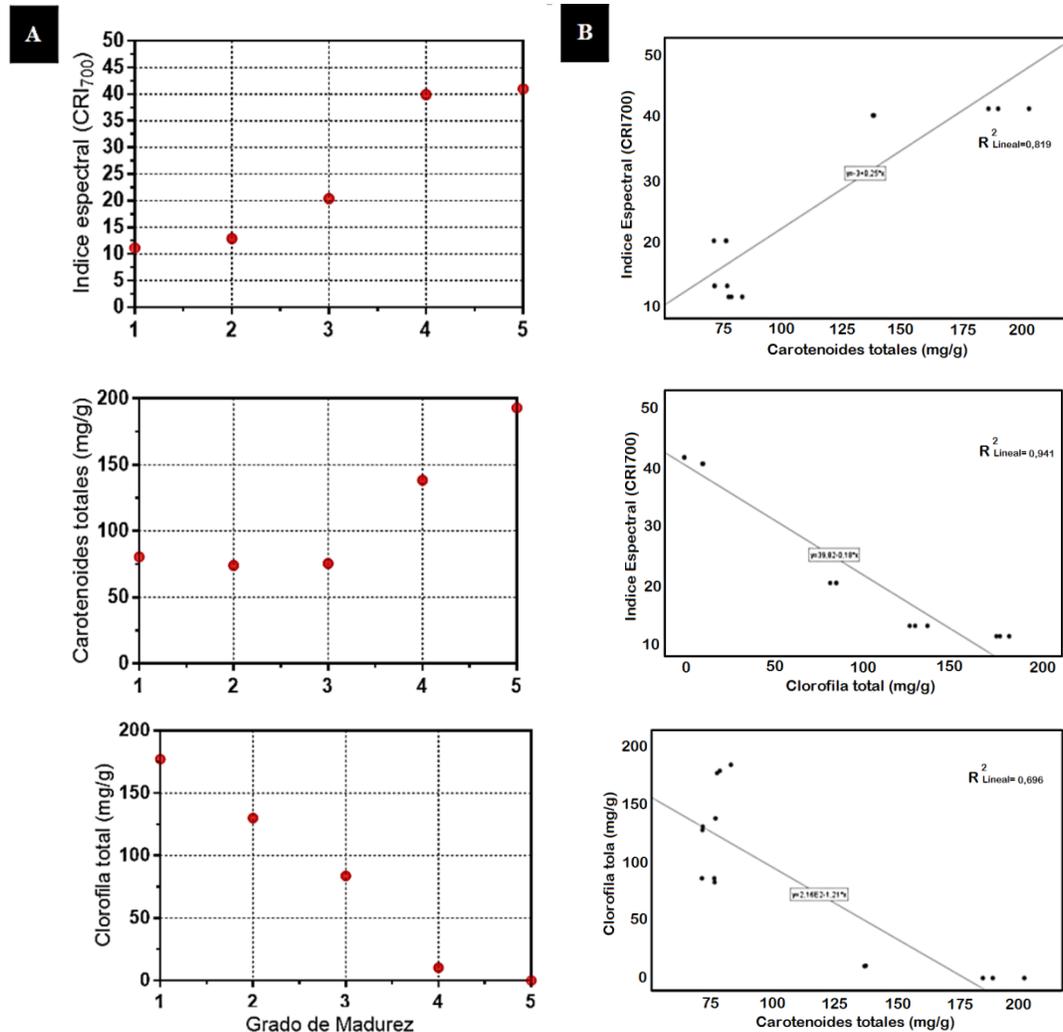


Figura 5. Evaluación del Grado de madurez de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) con los parámetros de medición Índice espectral (CRI₇₀₀), Carotenoides totales (mg/g) y Clorofila total (mg/g) (A). Correlación de Pearson entre las variables de Índice espectral con Carotenoides totales y Clorofila total (B).

En la **Figura 5(B)** se muestran las correlaciones entre las variables de Índice espectral (CRI_{700}) con Clorofila total y Carotenoides totales y la correlación entre las variables de carotenoides y clorofila.

Al analizar las correlaciones Carotenoides totales y CRI_{700} mostró una correlación positiva de 0,915 ($p < 0,01$) para 15 muestras, y su relación es directa entre las variables, esto indica que significativamente al aumentar la cantidad de carotenoides totales el índice de reflectancia de carotenoides también aumenta, concordando con lo manifestado por **Caporaso et al. (2018)**.

Al analizar las correlaciones clorofila total y CRI_{700} mostraron una correlación negativa de -0,972 ($p < 0,01$) para 15 muestras y su relación es inversa entre las variables, esto indica que significativamente al disminuir la cantidad de clorofila totales el índice de reflectancia de carotenoides aumenta.

Así mismo, al analizar las correlaciones carotenoides totales con clorofila totales mostraron una correlación negativa de -0,851 ($p < 0,01$) para 15 muestras, y su relación es inversa entre las variables, esto indica que significativamente al aumentar la cantidad de carotenoides totales la cantidad de clorofila totales disminuye.

Análisis de imagen digital

En la **Tabla 2** se presenta los valores de las características de color RGB y los valores en el espacio de color $CIE L^*a^*b^*$, las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , se estudiaron con relación a la pérdida del pigmento clorofila e incremento de carotenoides, los valores muestran la relación de a^* (verde a rojo) una disminución de clorofila y aumento del contenido total de carotenoides de muestras maduras, se puede observar una relación lineal de la variable a^* con carotenoides totales con un valor de Pearson $r = 0,949$ y una relación inversa de la variable a^* con clorofila total con un Pearson $r = -0,968$. Las variables b^* (azul-amarillo) y contenido de carotenoides mostró una relación lineal con un valor de Pearson $r = 0,770$ y las variables b^* (azul-amarillo) con clorofila la relación es inversa con valor de Pearson $r = -0,890$. **Cueto et al. (2017)** estudió las coordenadas $L^*a^*b^*$ en relación a la pérdida de pigmentos relacionando b^* (amarillez) con el contenido total de carotenoides en muestras extruidas, con una relación lineal de $R^2 = 0,89$. **Patsilnakos et al. (2018)** correlacionó los valores de CIELAB con los datos de carotenoides obtenidos mediante HPLC.

4. Conclusiones

El análisis de la imagen hiperespectral permite identificar las bandas espectrales para la identificación de los espectros del color verde y del color rojo de las muestras en estudio, así determinar el Índice espectral en función del índice de carotenoides (CRI_{700}) y relacionar con los componentes de carotenoides totales y clorofila totales obtenidos mediante la cuantificación de muestras liofilizadas para evitar la pérdida de los pigmentos carotenos. Los análisis de correlación mostraron una correlación significativa ($p < 0,01$) del Índice espectral (CRI_{700}) respecto al contenido de carotenoides totales, indicando que a medida que el fruto madura el Índice Espectral de carotenoides aumenta, siendo un método no destructivo para el análisis de este componente y permitiendo analizar muestras intactas en menor tiempo y evitando usar reactivos para la preservación del ambiente. De igual manera se analizó la correlación de las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , por ser un modelo de color, más utilizado en la Industria Alimentaria, este método está al alcance de las empresas y responsables de la calidad ya que permitirá utilizando un teléfono móvil dar un valor numérico, de esta manera se busca proporcionar un método que permita a la agroindustria una herramienta rápida de bajo costo para determinar la calidad de los pimientos morrones para el procesamiento del mismo.

ORCID

N. León  <https://orcid.org/0000-0001-5001-1558>

Referencias bibliográficas

- Asnin, L.; Park, S. W. 2015. Isolation and analysis of bioactive compounds in Capsicum peppers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55(2): 254-289.
- Aredo, V.; Velásquez, L.; Siche, R. 2017. Prediction of beef marbling using Hyperspectral Imaging (HSI) and Partial Least Squares Regression (PLSR). *Scientia Agropecuaria* 8(2): 169-174.
- Baenas, N.; Belović, M.; Ilic, N.; Moreno, D. A.; García-Viguera, C. 2019. Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry* 274: 872-885.
- Biehler, E.; Mayer, F.; Hoffmann, L.; Krause, E.; Bohn, T. 2010. Comparison of three spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. *Journal of Food Science* 75: 55-61.

- Caporaso, N.; Whitworth, M. B.; Grebby, S.; Fisk, I. D. 2018. Rapid prediction of single green coffee bean moisture and lipid content by hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering*, 227: 18-29.
- Costa, C.; Antonucci, F.; Aguzzi, J.; Sun, D-W; Menesatti, P. 2011. Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food and Bioprocess Technology* 4: 673-692.
- Costa, G.B.; Fernandes, D.D.S.; Almeida, V.E.; Araújo, T.S.P.; Melo, J.P.; Diniz, P.H.; Vêras, G. 2015. Digital image-based classification of biodiesel. *Talanta* 39: 50-55.
- Cueto, M.; Farroni, A.; Schoenlechner, R.; Schleining, G.; Buera, P. 2017. Carotenoid and color changes in traditionally flaked and extruded products. *Food Chemistry* 229: 640-645.
- Dereje, A. 2003. Screening *Capsicum annuum* germplasm for variability in ascorbic acid, total soluble solids and dry matter content, Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem.
- El-Hendawy, S; Al-Suhaibani, N; Salem, A E; Rehman, S.U.; Schmidhalter, U. 2015. Spectral reflectance indices as a rapid and nondestructive phenotyping tool for estimating different morphophysiological traits of contrasting spring wheat germplasms under arid conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39: 572-587.
- Feng, C.-H.; Makino, Y.; Oshita, S.; García Martín, J.F. 2018. Hyperspectral imaging and multispectral imaging as the novel techniques for detecting defects in raw and processed meat products: Current state-of-the-art research advances. *Food Control* 84: 165-176.
- Fray, A.; Keceli, M. A.; Ökmen, B.; Sigva, H. Ö.; Yemenicioglu, A.; Doganlar, S. 2008. Water soluble Antioxidant potential of Turkish pepper cultivars. *HortScience* 43: 631–636.
- Gitelson, A.A.; Zur, Y.; Chivkunova, O.B.; Merzlyak, M.N. 2002. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochem. Photobiol.* 75, 272–281.
- González, I. 2010. Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis de Magister en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 84 pp.
- Kilcrease, J.; Rodriguez-Urbe, L.; Richins, R. D.; Arcos, J. M. G.; Victorino, J.; O'Connell, M. A. 2015. Correlations of carotenoid content and transcript abundances for fibrillin and carotenogenic enzymes in *Capsicum annuum* fruit pericarp. *Plant Science* 232: 57-66.
- Leme, D.; Alves da Silva, S.; Groenner B.; Meira, F.; Fonseca, R. 2019. Recognition of coffee roasting degree using a computer vision system. *Computers and Electronics in Agriculture* 156: 312–317.
- León, N.; Abderrahim, M.; Nuñez, L.; Arribas, S. M.; Condezo, L. 2016. Prediction of fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) based on color measurement and artificial neural networks. *Talanta* 161: 31-39.
- León, N.; Aguilar, S.; Quispe, J.; Mamani, W.; Alfaro, S.; Condezo, L. 2019. A green analytical assay for the quantitation of the total saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) based on macro lens-coupled smartphone. *Talanta* 204: 576-585.
- Lichtenthaler, H. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology. Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Issue 148: 350-382.
- Loizzo, M. R.; Pugliese, A.; Bonesi, M.; Menichini, F.; Tundis, R. 2015. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT - Food Science and Technology* 64(2): 623-631.
- Lu, R.; Mendoza, F. 2015. Basics of Image Analysis. En: *Hyperspectral Imaging Technology in Food and Agriculture*. New York: Springer 404 pp.
- Minguez, M.; Pérez, A.; Hornero, D. 2005. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales mucho más que simples “colorantes” naturales. *CTC Alimentation* 26: 108-113.
- Patsilinakos, A.; Ragno, R.; Carradori, S.; Petrallito, S.; Cesa, S. 2018. Carotenoid content of Goji berries: CIELAB, HPLC-DAD analyses and quantitative correlation. *Food Chemistry* 268: 49-56.
- Resonon Inc. 2016. *SpectrononPro Manual*. Estados Unidos: Release 5.0.
- Sanaeifar, A.; Bakhshipour, A.; Guardia, M. 2016. Prediction of banana quality indices. *Talanta* 48: 54-61.
- Siche, R.; Vejarano, R.; Aredo, V.; Velasquez, L.; Saldaña, E.; Quevedo, R. 2016. Evaluation of Food Quality and Safety with Hyperspectral Imaging (HSI). *Food Engineering Reviews* 8(3): 306-322.
- Schmilovitch, Z.; Ignat, T.; Alchanatis, V.; Gatker, J.; Ostrovsky, V.; Felföldi, J. 2014. Hyperspectral imaging of intact bell peppers. *biosystems engineering* 117: 83-93.
- Vásquez, A. 2015. Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imágenes digitales. Tesis de Magister en Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 153 pp.
- Velasquez, L.; Cruz-Tirado, J.P.; Siche, R.; Quevedo, R. 2017. An application based on the decision tree to classify the marbling of beef by hyperspectral imaging. *Meat Science* 133: 43-50.
- Vidal, M.; Garcia-Arrona, R.; Bordagarey, A.; Ostra, M.; Albizu, G. 2018. Simultaneous determination of color additives tartrazine and allura red in food productions by digital image analysis. *Talanta* 184: 58-64.
- Xie, J.; Yao, S.; Ming, J.; Deng, L.; Zeng, K. 2019. Variations in chlorophyll and carotenoid contents and expression of genes involved in pigment metabolism response to oleocellosis in citrus fruits. *Food Chemistry* 272: 49-57.

Zhou, X.; Huang, W.; Kong, W.; Ye, H.; Dong, Y.; Casa, R. 2017. Assessment of leaf carotenoids content with a new carotenoid index: Development and validation on experimental

and model data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 57: 24-35.