

Implementación y Validación de una Metodología Económica para la Medición de Color Aplicada en Alimentos

Fabiola Cornejo ⁽¹⁾, Galo Chuchuca ⁽²⁾, Arianna Dick ⁽³⁾, Jaime Peñafiel ⁽⁴⁾

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador

fcornejo@espol.edu.ec ⁽¹⁾, gwchuchu@espol.edu.ec ⁽²⁾, adick@espol.edu.ec ⁽³⁾, fpenafiel_u@hotmail.com ⁽⁴⁾

Resumen

Este trabajo se realizó con la finalidad de implementar y validar un método económico de medición de color aplicado en alimentos, tomando como referencia un colorímetro Konika Minolta CR-400. Para ello, se implementó un Sistema de Visión Computarizada (SVC) compuesto por un escenario con condiciones de iluminación D65, una cámara digital CCD y un software gráfico. El color se midió capturando imágenes a muestras de arroz con diferente tamaño de partícula: arroz entero (AE), arroz quebrado (AQ) y harina de arroz (AH), y pan con diferente estructura de la matriz alimentaria: pan de hamburguesa con miga gruesa (MG), pan de molde con miga fina (MF), y la superficie de un pan precocido como una estructura cerrada completa (C). El procesamiento de las imágenes se realizó con el software Adobe® Photoshop® CS5 para conseguir valores de color en coordenadas L^ , a^* y b^* . Como resultado, no fue posible validar el SVC, frente al colorímetro Konika Minolta CR-400, debido a que se encontró diferencia significativa entre todas las mediciones. Además, se analizó en el arroz, si el factor tamaño de partícula incidía en el color de la muestra, encontrando como resultado que si existe diferencia significativa en los valores obtenidos.*

Palabras Claves: Sistema de Visión Computarizada, colorímetro, medición de color en alimentos, CIE- $L^*a^*b^*$, procesamiento de imágenes.

Abstract

This work was done in order to implement and validate an economical method of measuring color in food, in reference to a Konika Minolta CR-400 colorimeter. For this, we implemented a Computer Vision System (CVS) comprising a stage with D65 light conditions, a CCD digital camera and graphic software. Color was measured by capturing images to rice samples with different particle size: milled rice (AE), broken rice (AQ) and rice flour (AH), and bread with different food matrix structure: hamburger bread with thick crumb (MG), sliced bread with fine crumb (MF), and the surface of a ready-cooked bread as a complete closed structure (C). The image processing was performed with Adobe® Photoshop® CS5 to get color values in coordinates L^ , a^* and b^* . As a result, it wasn't possible to validate the CVS against Konika Minolta CR-400 colorimeter, because significant difference was found between all measurements. Furthermore, particle size was analyzed in rice to find out if it affected the color of the sample. As a result, significant difference was found in the obtained values.*

Keywords: Computer Vision System, colorimeter, food color measurement, CIE- $L^*a^*b^*$, image processing.

1. Introducción

El color es un atributo que ayuda a inferir en la calidad de un producto, causando cierto rechazo por parte del consumidor, al percibir cambios o anomalías en su coloración. Sin embargo, cada consumidor describe el color de un producto de modo distinto, dando como resultado una amplia subjetividad.

Con el fin de promover una comunicación objetiva, en la industria de alimentos es imprescindible contar con un sistema de medición de color.

Para llevar a cabo la evaluación del color, existen dos procedimientos: medición sensorial, en el que intervienen panelistas entrenados, utilizando patrones de referencia como el sistema Munsell; y medición

instrumental, que incluye equipos como el colorímetro y el espectrofotómetro [1].

La diferencia entre un colorímetro y un espectrofotómetro, es que el colorímetro es utilizado en industrias para medir diferencias de color entre una muestra en proceso y una muestra patrón, mientras que el espectrofotómetro es ampliamente utilizado para realizar análisis de alta precisión y gestión del color, en el área de laboratorios e investigación [2].

Los colorímetros, por lo general, poseen un costo elevado. Un método más económico y versátil para determinar el color en superficies de alimentos, comprende una cámara digital, un escenario con condiciones de iluminación establecidas, una computadora y un software gráfico [3].

Misimi (2007) propuso la automatización de un sistema de visión computarizada adaptada al procesamiento del pescado, para medir el color en la piel con valores de coordenadas CIE L^* , a^* , b^* [4]. El sistema también ha sido empleado para medir el color de la superficie de pizzas horneadas [3], así como para determinar características colorimétricas en carnes de vaca, cerdo y pollo [5] y determinar el color en epicarpio de tomates durante la maduración [6].

En esta investigación, se busca implementar y validar un Sistema de Visión Computarizada, como una metodología económica para la medición de color en alimentos, tomando como referencia un colorímetro Konika Minolta CR-400. El sistema quedará a disposición de los alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos para estudios posteriores de características colorimétricas en productos de su interés.

2. Materiales y Métodos

2.1. Muestras

Se utilizó arroz blanco, adquirido en el mercado local. Se dividieron tres porciones iguales, de las cuales: una porción fue molida hasta obtener harina de arroz (AH), otra porción fue molida hasta obtener arroz quebrado (AQ) y finalmente, a la última porción no se le realizó ningún tratamiento y se la dejó como arroz entero (AE), como se observa en la figura 2. En la tabla 1 se señala el tamaño de partícula para las tres muestras.

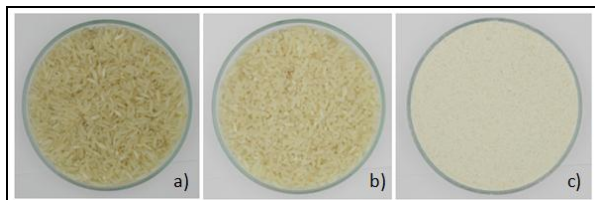


Figura 1. Muestras de arroz: a) Arroz entero, b) Arroz quebrado, c) Harina de arroz

Tabla 1. Tamaño de partícula de las muestras de arroz

Muestra	Tamaño de Partícula
AE	1,992 mm
AQ	1,793 mm
AH	0,462 mm

Se utilizó pan de hamburguesa para representar a panes con miga gruesa (MG), pan de molde para representar panes con miga fina (MF), y la superficie de un pan precocido para una estructura cerrada completa (C), como se observa en la figura 2. En la tabla 2 se detalla el tamaño de poro.

Se efectuaron 30 mediciones en forma aleatoria, utilizando siempre la misma muestra para cada condición.

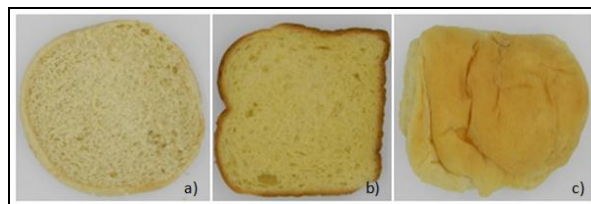


Figura 2. Muestras de pan: a) Miga gruesa, b) Miga fina, c) Estructura cerrada

Tabla 2. Tamaño de poro de las muestras de pan

Muestra	Tamaño de poro
MG	2,5 mm
MF	1 mm

2.2. Método de referencia

Se utilizó un colorímetro Konika Minolta CR-400 que emplea una fuente de luz de xenón pulsante, área de medición/iluminación de 8mm/11mm de diámetro, observador estándar 2° y espacios de color como XYZ, Y_{xy} , $L^*a^*b^*$, Hunter Lab, L^*C^*h , Munsell (sólo iluminante C), entre otros [11].

El procedimiento para medir color en los alimentos con el colorímetro Konika Minolta, serie CR-400, consiste en colocar el equipo en contacto directo sobre la muestra, como se observa en la figura 3. Definida el área de interés, se procede a accionar el botón de medición, el equipo emite una luz de xenón pulsante y las longitudes de onda emitidas por la muestra, son transcritas por el colorímetro a valores del espacio de color seleccionado, como $L^* a^* b^*$.



Figura 3. Colorímetro Konika Minolta CR-400
Fuente: Minolta Co., Ltd. [11]

2.3. Componentes del sistema

La metodología empleada para la medición de color fue un Sistema de Visión Computarizada (SVC) que consistió en:

2.3.1. Escenario. Se construyó una cabina metálica de hierro de 2 mm de espesor, con dimensiones 35x35x55 cm. En su interior se ubicaron dos lámparas tipo fluorescente lineal D65, situadas en la parte superior de la cabina en un ángulo de 45° respecto del plano horizontal, como se observa en la figura 4. La cabina se pintó de color blanco mate, para evitar

reflejos que pudieran afectar el color de la superficie de la muestra.

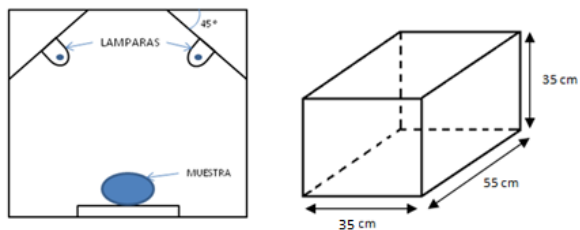


Figura 4. Dimensionamiento de la estructura

Para establecer el color interno del escenario, se tomaron fotos por triplicado con fondo negro y fondo blanco a una muestra de arroz entero. Se promediaron los valores y se evaluó en qué condición el SVC daba valores más cercanos al colorímetro de referencia, obteniendo que la mejor condición era el fondo de color blanco como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Coordenadas L^* , a^* y b^* para arroz entero según color del interior del escenario

a)	Fondo negro	$L^* = 84 \pm 0,96$ $a^* = -1 \pm 0,50$ $b^* = 24 \pm 0,00$
	Fondo blanco	$L^* = 60 \pm 2,25$ $a^* = -1 \pm 0,75$ $b^* = 25 \pm 1,05$
b)	Colorímetro	$L^* = 62,56 \pm 0,90$ $a^* = -0,31 \pm 0,11$ $b^* = 10,22 \pm 0,43$

a) Medido con SVC

b) Medido con Konika Minolta CR-400

2.3.2. Cámara fotográfica digital. Se empleó una cámara digital marca Nikon, serie COOLPIX L110, provista de un sensor de imagen CCD de tamaño 1/2,3 pulgadas, 12,1 megapíxeles (efectivos) para imágenes con mayor resolución y distancia de 50 cm a infinito en enfoque desde el objetivo en modo normal y de 1 cm a infinito en modo macro.

La cámara se ubicó en forma vertical, a una distancia de 20 cm de la muestra sobre un trípode compacto retráctil con una altura de 26,5 cm y ángulo de inclinación de 90°.

La configuración de la cámara se estableció en modo automático, modo macro activado, flash desactivado, ISO automático, compensación de exposición $EV=0,0$ y modo de imagen 12M (4000 x 3000 píxeles). Se utilizó formato de almacenamiento JPEG, ya predeterminado [5, 7, 8, 9]. El balance de blancos se realizó con un ajuste manual sobre un papel bond Xerox 150 gm-2.

Se realizaron pruebas por triplicado en los modos de balance de blancos: preajuste manual, luz del día, incandescente, fluorescente, y modo nublado, encontrándose que el modo preajuste manual de balance de blancos se acercaba más a los valores obtenidos por el colorímetro Konika Minolta CR-400

tomados a la misma muestra ($L^* = 62,56 \pm 0,90$, $a^* = -0,31 \pm 0,11$, $b^* = 10,22 \pm 0,43$). Ver tabla 4.

Tabla 4. Coordenadas L^* , a^* y b^* para arroz entero según balance de blancos

Balance de blancos	Muestra: arroz entero		
	L^*	a^*	b^*
Preajuste manual	$62 \pm 1,18$	$0 \pm 0,73$	$26 \pm 0,77$
Luz del día	$58 \pm 1,14$	$-16 \pm 0,45$	$5 \pm 0,89$
Incandescente	$63 \pm 1,05$	$-16 \pm 0,40$	$-30 \pm 0,70$
Fluorescente	$61 \pm 1,23$	$-5 \pm 0,52$	$-11 \pm 0,79$
Nublado	$59 \pm 0,95$	$-13 \pm 0,45$	$17 \pm 0,81$

2.3.3. Software para el procesamiento de la imagen. Se empleó el software Adobe® Photoshop® CS5, el cual presenta reguladores en el espacio de color CIELAB [6], permitiendo la comparación con los datos obtenidos entre el SVC y el colorímetro de referencia.

El sistema de Visión Computarizada, sin incluir la computadora y el software utilizado, tiene un costo de \$695,55.

2.4. Procedimiento para toma, acondicionamiento y análisis de la muestra

Los pasos para el procesamiento de toma, acondicionamiento y análisis de la muestra, fueron los siguientes:

1. Acondicionamiento de muestra: Las muestras de arroz se colocaron sobre una caja petri de 9,5 cm de diámetro y 1,5 cm de altura, de vidrio translúcido; se dispersó la muestra uniformemente en la caja, evitando una superficie irregular. Las muestras de pan se colocaron directamente sobre el papel bond Xerox de 150 gm-2.

2. Pre-ajuste: Se realizó el pre-ajuste de balance de blancos ingresando al menú de la cámara, antes de realizar la captura. Es importante señalar que el ajuste se debe realizar sobre papel bond y no sobre la muestra que se requiere analizar.

3. Colocar muestra: Una vez calibrada la cámara, se coloca la muestra ya preparada previamente sobre la caja petri, en caso de que se requiera, o directamente se coloca la muestra sobre el papel.

4. Captura: Es necesario activar en la cámara la opción de disparador automático para evitar que las manos, al presionar el disparador, produzcan sombras dentro de la estructura.

5. Retirar la cámara: Se procedió a retirar la cámara fotográfica con el trípode, debido a que el sistema no cuenta con un cable de transferencia directa de la cámara al computador.

6. Transferir imagen: Las muestras fueron almacenadas en la memoria de la cámara y

transferidas al ordenador para el procesamiento digital.

2.5. Procesamiento y análisis de datos

La pantalla se calibró utilizando la función Administración del color incluida en el computador. Se realizaron ajustes de gamma, brillo, contraste y balance de color.

Las imágenes fueron procesadas en Adobe® Photoshop® CS5. El procesamiento de imágenes involucra el preprocesamiento, la segmentación y el promediado [4, 7, 10].

2.5.1. Preprocesamiento. Una vez transferidas las imágenes al ordenador, los pasos para el preprocesamiento fueron:

1. Introducción de la imagen al software: Las imágenes se introdujeron en el software mediante el menú archivo, opción abrir, selección de la imagen.

2. Cambio del perfil de color incrustado de la imagen (sRGB) a los colores del espacio de trabajo (Adobe RGB). Ver figura 5.

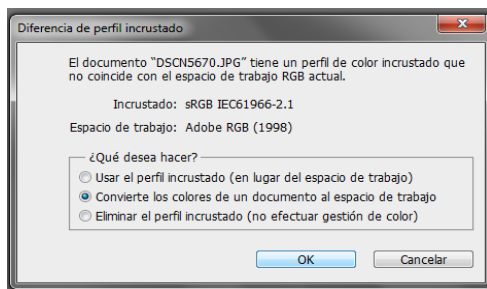


Figura 5. Cambio del perfil de color

3. Ajuste del canal RGB: En menú imagen, submenú ajustes, opción niveles, se ajustó el canal RGB, con los niveles de entrada (0, 1, 255) y de salida (0, 255). Ver figura 6.

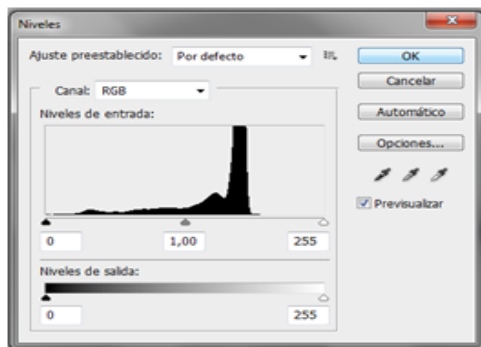


Figura 6. Ajuste del canal RGB

2.5.2. Segmentación y promediado. Los pasos para la segmentación y el promediado fueron los siguientes:

1. Segmentación de la imagen: La segmentación de imágenes se realizó individualmente con la

herramienta Marco rectangular (tamaño fijo de 900x900 píxeles), menú imagen, opción recortar. Ver figuras 7 y 8.

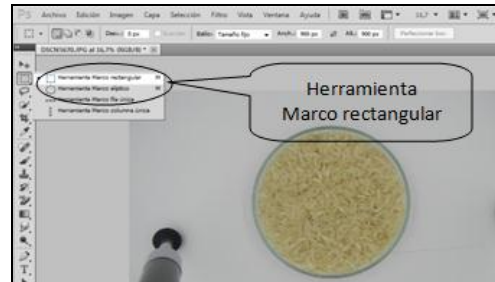


Figura 7. Herramienta marco rectangular

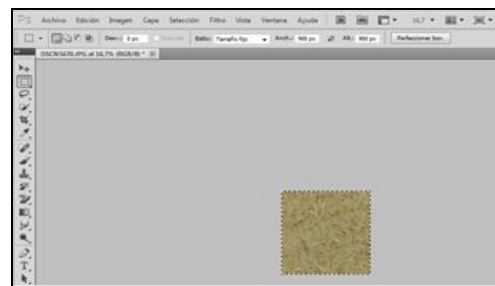


Figura 8. Área de interés recortada

2. Promediado de la imagen: Se promediaron los píxeles del área seleccionada en menú filtro, submenú desenfocar, opción promediar. Ver imagen 9.

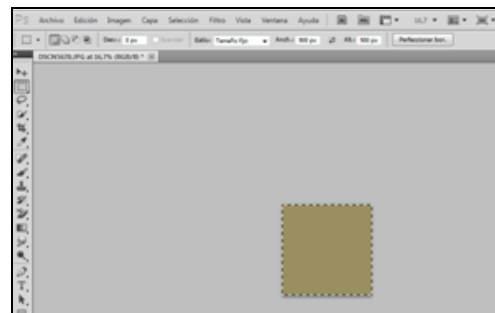


Figura 9. Área de interés promediada

3. Obtención de coordenadas L*, a*, y b*: se utilizó la herramienta cuentagotas, colocando el cursor sobre el área a ser evaluada. Se observaron los valores seleccionando el espacio de trabajo Diseño, en la ventana de información. Ver figuras 10 y 11.

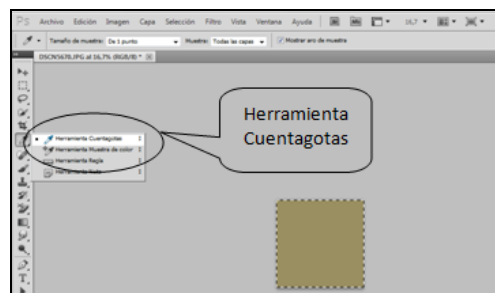


Figura 10. Herramienta Cuentagotas

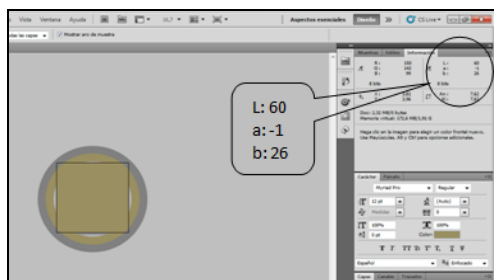


Figura 11. Coordenadas L*, a* y b*

2.6. Análisis estadístico

Con el objetivo de validar el método de medición de color SVC, con el método de referencia, colorímetro Konika Minolta CR-400, se realizaron pruebas de comparación. Además, se analizó la incidencia del tamaño de partícula en el color de las muestras de arroz.

El análisis estadístico se llevo a cabo utilizando la herramienta estadística Minitab 16.

2.6.1. Comparación de medidas con método de referencia. Las coordenadas de color obtenidas con el SVC y el colorímetro Konika Minolta CR-400 presentaron no normalidad en su distribución, tanto para las muestras de arroz como para las muestras de pan. Por lo tanto, para poder realizar una comparación y conocer si existe diferencia significativa entre los métodos de medición, fue necesario recurrir a la prueba no paramétrica de Mann-Whitney con $\alpha=0,05$, que analiza la mediana como medida de tendencia central.

2.6.2. Comparación de medidas entre muestras. Se recurrió a la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis con $\alpha=0,05$ para la comparación entre muestras, debido a que los datos no presentaron normalidad y se requería comparar más de dos grupos. Para ello, se definió como factor el tamaño de partícula en las muestras de arroz, definiendo como tratamiento 1, 2 y 3 a las muestras arroz entero (AE), arroz quebrado (AQ) y harina de arroz (AH), respectivamente.

Se recurrió a la prueba no paramétrica de Mann-Whitney con $\alpha=0,05$ para determinar cual tratamiento difería, o si la diferencia estaba marcada entre todos los tratamientos.

Debido a que las muestras de pan no provenían del mismo origen, no fue posible la comparación entre muestras con diferente estructura de la matriz alimentaria.

3. Resultados

3.1. Validación del método en arroz con diferente tamaño de partícula

De los resultados obtenidos, detallados en la tabla 5, para la muestra Arroz Entero (AE), la prueba de Mann-Whitney para la diferencia de medianas, muestra valores $p < 0,1$ para las coordenadas de color L*, a* y b*, por lo que existe suficiente evidencia estadística para concluir que las medianas de las coordenadas de color L*, a* y b* proporcionadas por el colorímetro Konika Minolta CR-400 y el Sistema de Visión Computarizada (SVC) no son iguales. Por lo tanto, no es posible la validación del SVC para la medición de color en muestras de arroz con tamaño de partícula de 1,992 mm. Las mediciones de las coordenadas de color L* y a* proporcionadas por el colorímetro Konika Minolta CR-400 tienden a ser mayores que las proporcionadas por el SVC y menores para la coordenada b*.

Tabla 5. Valor p de la prueba de Mann-Whitney para las muestras de arroz

Muestras		Diferencia mediana	IC 95,2%		Valor p
AE	L*	1,540	0,880	1,880	0,0000
	a*	0,750	0,690	0,8698	0,0049
	b*	-16,885	-17,090	-16,790	0,0000
AQ	L*	-0,330	-0,830	0,450	0,3856
	a*	0,670	0,629	1,550	0,0000
	b*	-13,950	-14,060	-13,860	0,0000
AH	L*	9,350	8,870	9,890	0,0000
	a*	1,910	1,870	1,9301	0,0000
	b*	-1,930	-2,190	-1,530	0,0000

En la muestra Arroz Quebrado (AQ), se observa que únicamente la coordenada de color L* presenta un valor $p > 0,1$, por lo que existe suficiente evidencia estadística para concluir que no existe diferencia significativa entre las mediciones de la coordenada de color L* proporcionadas por el colorímetro Konika Minolta y el SVC.

En cambio, para las coordenadas de color a* y b* de la muestra AQ no es posible llegar a la misma conclusión, debido a que muestran un valor $p < 0,1$ para ambos casos. Las mediciones para las coordenadas de color a* y b* proporcionadas por los dos equipos difieren. Por lo tanto, no es posible afirmar que para la medición de color de arroz quebrado con un tamaño de partícula de 1,793 mm, es posible la utilización de SVC como método validado frente a un colorímetro Konika Minolta CR-400, porque para describir a un color es necesario de las tres coordenadas de color, L*, a* y b*.

Los valores de a* proporcionados por el colorímetro Konika Minolta CR-400 tienden a ser mayores a los proporcionados por el SVC, mientras que para b*, tienden a ser menores.



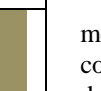











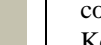








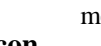
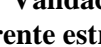
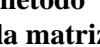

Para la muestra Harina de Arroz (AH), no fue posible validar las coordenadas del espacio de color L*, a* y b* medidas con el SVC frente al colorímetro Konika Minolta CR-400. El resultado de la prueba de Mann-Whitney para la diferencia de medianas mostró valores $p < 0,1$. En conclusión, las mediciones de las

coordenadas de color L^* , a^* y b^* obtenidas por el colorímetro Konika Minolta CR-400 y el SVC tienen diferencia significativa, no son iguales. Las coordenadas de color L^* y a^* medidas por el colorímetro Konika Minolta CR-400 muestran tendencia a exceder a las medidas por el SVC, mientras que las coordenadas de color b^* tienden a ser menores.

Finalmente, luego de analizados los datos en los tres tratamientos de arroz, es posible concluir que la medición de color por parte del Sistema de Visión Computarizada (SVC) difiere significativamente frente a la medición que se realiza con el colorímetro Konika Minolta CR-400; no es posible la validación. Se pueden conocer estimaciones de cuantas unidades varían en las mediciones entre métodos para cada coordenada de color en las tres condiciones de tamaño de partícula para arroz.

En la tabla 8 se muestran los colores construidos en el software Adobe® Photoshop® CS5 a partir de las medianas de cada coordenada de color obtenidos con el colorímetro Konika Minolta CR-400 y el SVC, para las muestras de arroz. Como se observa, los colores obtenidos con el SVC tienen más similitud a las muestras reales, que los obtenidos con el colorímetro Konika Minolta CR-400. Sin embargo, el colorímetro presenta una menor desviación en sus mediciones.

Tabla 8. Colores construidos a partir de las medianas para las muestras de arroz

Muestra		CR-400		SVC	
AE		L^* 2,725		1,0	
		a^* 0,230		1,0	
		b^* 0,115		7,0	
AQ		L^* 8,430		9,0	
		a^* 0,375		1,0	
		b^* 0,030		4,0	
AH		L^* 8,035		9,0	
		a^* 0,120		2,0	
		b^* 9,395		1,0	

3.2. Validación del método en pan con diferente estructura de la matriz alimentaria

Los resultados de la prueba de Mann-Whitney, que se detallan en la tabla 7 para la diferencia de medianas de las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , medidas con el colorímetro Konika Minolta CR-400 y el SVC, señalan que únicamente para la medición de a^* en pan de molde (MF) la prueba ofrece un valor $p > 0,1$. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para sustentar que no existe diferencia significativa entre ambos métodos. Pero para la medición de las coordenadas de color L^* y b^* en la muestra MF la prueba de diferencia de medianas señala un valor $p < 0,1$ en ambos casos, por lo que existe la evidencia estadística suficiente para concluir que las mediciones para las coordenadas L^* y b^* en MF por el SVC no

son iguales a las mediciones del colorímetro Konika Minolta CR-400.

Tabla 7. Valor p de la prueba de Mann-Whitney para las muestras de pan

Muestras		Diferencia mediana	IC 95,2%		Valor p
MG	L^*	2,220	1,371	3,15	0,0006
	a^*	0,770	0,720	0,85	0,0000
	b^*	-14,550	-15,01	-14,14	0,0000
MF	L^*	5,890	5,24	6,31	0,0000
	a^*	-0,080	-0,849	0,08	0,4464
	b^*	-19,970	-20,39	-19,72	0,0000
C	L^*	5,910	5,05	6,64	0,0000
	a^*	-2,590	-3,030	-2,249	0,0000
	b^*	-20,350	-20,92	-19,92	0,0000

Por lo tanto, no es posible afirmar que para la medición de color de un pan de miga fina con tamaño de abertura 1mm, el SVC sea validado frente a un colorímetro Konika Minolta CR-400, debido a que el color está descrito por las tres coordenadas de color L^* , a^* y b^* . Las mediciones del colorímetro Konika Minolta CR-400 tienden a ser mayores en relación al SVC para L^* y menores para b^* .

En las muestras pan de hamburguesa (MG) y pan precocido (C), para cada una de las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , la prueba de diferencia de medianas muestra un valor $p < 0,1$. Por lo cual, existe suficiente evidencia estadística para concluir que existe diferencia significativa entre las mediciones del colorímetro Konika Minolta CR-400 y el SVC.

En conclusión no es posible validar el SVC como método de medición de color para pan de miga gruesa con tamaño de poro 2,5 mm, así como para superficies de pan precocido, teniendo como referencia un colorímetro Konika Minolta CR-400.

En la muestra pan de hamburguesa (MG), las coordenadas L^* y a^* obtenidas con el colorímetro Konika Minolta CR-400 tienden a ser mayores en comparación al SVC; mientras que para b^* , las mediciones tienden a ser menores.

En la muestra pan precocido (C), las mediciones de L^* proporcionadas por el colorímetro Konika Minolta CR-400 tienden a ser mayores, mientras que para a^* y b^* , las mediciones tienden a ser menores en comparación con el SVC.

Finalmente, luego de analizados los datos en los tres tratamientos de pan, es posible concluir que la medición de color por parte del Sistema de Visión Computarizada (SVC) difiere significativamente frente a la medición que se realiza con el colorímetro Konika Minolta CR-400; no es posible la validación. Se pueden conocer estimaciones de cuantas unidades varían en las mediciones entre métodos para cada coordenada de color en las tres condiciones de estructura de la matriz alimentaria.

En la tabla 8 se muestran los colores construidos en el software Adobe® Photoshop® CS5 a partir de las medianas de cada coordenada de color obtenidos con

el colorímetro Konika Minolta CR-400 y el SVC, para las muestras de pan. Similar a la prueba en arroz, los colores obtenidos con el SVC tienen más similitud a las muestras reales, que los obtenidos con el colorímetro Konika Minolta CR-400. Sin embargo, el colorímetro presenta una menor desviación en sus mediciones.

Tabla 8. Colores construidos a partir de las medianas para las muestras de arroz

Muestra		CR-400		SVC	
MG	L*	70,83		68,50	
	a*	-1,24		-2,00	
	b*	14,96		29,50	
MF	L*	72,98		67,00	
	a*	-2,89		-3,00	
	b*	22,24		42,00	
C	L*	64,11		58,00	
	a*	6,63		9,00	
	b*	29,22		50,00	

3.3. Análisis de la comparación de medidas entre muestras

Para la prueba de comparación de medidas entre muestras, utilizando el método de medición de color SVC, los resultados se resumen en la tabla 9. Las coordenadas de color L*, a* y b* señalan un valor p < 0,1 para la prueba de Kruskal-Wallis, por lo que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que las muestras a diferentes tamaños de partícula no tienen diferencia significativa en cada coordenada del espacio de color. En conclusión, al menos una muestra difiere en las mediciones de L*, a* y b*.

Tabla 9. Valor p de la prueba de Kruskal-Wallis

Coordenada de color	Tratamiento	N	Mediana	Valor p
L*	1	30	61,00	0,000
	2	30	69,00	
	3	30	79,00	
a*	1	30	-1,00	0,000
	2	30	-1,00	
	3	30	-2,00	
b*	1	30	27,00	0,000
	2	30	24,00	
	3	30	11,00	

Sin embargo, la prueba de Mann-Whitney se desarrolló con el objetivo de encontrar si la diferencia que existía era de al menos una muestra o si la diferencia era marcada en el grupo.

Analizando los resultados que se muestran en la tabla 10, la comparación entre tratamientos, en cada coordenada de color L*, a* y b*, señala un valor p < 0,1, por lo cual existe la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y concluir que las mediciones difieren en todos los casos.

Tabla 10. Valor p de la prueba de Mann-Whitney entre tratamientos para las coordenadas de color

Coordenada de color	Comparación	Valor p
L*	Tratamiento 1 vs tratamiento 2	0,0000
	Tratamiento 1 vs tratamiento 3	0,0000
	Tratamiento 2 vs tratamiento 3	0,0000
a*	Tratamiento 1 vs tratamiento 2	0,0287
	Tratamiento 1 vs tratamiento 3	0,0000
	Tratamiento 2 vs tratamiento 3	0,0000
b*	Tratamiento 1 vs tratamiento 2	0,0000
	Tratamiento 1 vs tratamiento 3	0,0000
	Tratamiento 2 vs tratamiento 3	0,0000

Por lo tanto, las muestras Arroz Entero (AE) con tamaño de partícula 1,992 mm, Arroz Quebrado (AQ) con tamaño de partícula de 1,793 mm y Harina de Arroz (AH) con tamaño de partícula de 0,462 mm difieren significativamente en el color medido por el Sistema de Visión Computarizada (SVC) pese a provenir de la misma muestra. En conclusión, la variación del tamaño de partícula incide en el color del arroz blanco.

4. Conclusiones y Recomendaciones

El Sistema de Visión Computarizada utilizado para medir el color en alimentos con diferente tamaño de partícula y diferente estructura de la matriz alimentaria, no se validó con referencia a un colorímetro Konika Minolta CR-400, debido a que existen diferencias significativas entre las mediciones obtenidas por ambos métodos.

La aplicación de un colorímetro en la industria tiene como objetivo encontrar diferencias de color entre una muestra y un patrón, disminuyendo así la subjetividad que conlleva la evaluación realizada por una persona. El Sistema de Visión Computarizada empleado, pese a no estar validado, puede cumplir la misma función, puesto que presenta repetitividad en las mediciones de color.

El Sistema de Visión Computarizada muestra colores más acertados a la muestra real en comparación al color que se obtiene con el colorímetro Konika Minolta CR-400, sin embargo este último presenta mediciones con una desviación menor.

El Sistema de Visión Computarizada encontró diferencias significativas en las mediciones de color en arroz con diferente tamaño de partícula, pese a provenir de la misma muestra; concluyendo que, el

tamaño de partícula es un factor que incide en el color.

El método utilizado representa un bajo costo en su implementación, en comparación a la adquisición de un equipo profesional, como un colorímetro.

Se recomiendan mejoras para facilitar la operación del Sistema de Visión Computarizada empleado, como contar con un disparador automático para la toma de imágenes, transferir directamente las imágenes capturadas desde la cámara hacia el ordenador y fijar la cámara fotográfica en la parte superior de la estructura para facilitar la configuración de la misma.

Se recomienda realizar una experimentación utilizando el Sistema de Visión Computarizada, capturando imágenes de atlas de color, como un patrón, que permita conocer si el sistema proporciona valores congruentes de color.

Se recomienda realizar una evaluación sensorial para comprobar, mediante un análisis estadístico, si el Sistema de Visión Computarizada muestra colores más acertados a la muestra real en comparación a los colores que se obtiene por un colorímetro.

5. Agradecimientos

A la empresa TIOSA por facilitar el colorímetro Konika Minolta CR-400.

6. Referencias

- [1] Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., y Pranzetti, V., "El color en los alimentos: Determinación de color en mieles", *Invenio* 13, no. 25, pp. 145-152.
- [2] Precise color communication. Booklet of Konika Minolta. 2003. Disponible en <http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/index.html>.
- [3] Papadakis, E., Malek, S., Kamdem R., and Yam, K., "A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods", *Food Technology* 54, no. 12, pp.48-51.
- [4] Misimi, E., "Computer vision for quality grading in food processing", Ph.D. Thesis, Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering, Department of Engineering Cybernetics, Norwegian University of Science and Technology, 2007.
- [5] Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D. and Braghieri, A., "Measurement of meat colour using a computer vision system", *Meat Science* 93, no. 2, 111-118.
- [6] Padrón, C., Padrón, G., Montes, A. y Oropeza, R., "Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum mill.*) con sistema de visión computarizada durante la maduración", *Agronomía Costarricense* 36, no. 1, pp. 97-111.
- [7] Padrón, C., "Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*", *Agronomía Costarricense* 33, no. 2, pp. 283-301.
- [8] Misimi, E., Mathiassen, J. and Erikson, U., "Computer vision-based sorting of atlantic salmon (salmon salar) fillets according to their color level", *Journal of Food Science* 72, no. 1, pp. S30-S35.
- [9] Mendoza, F., Dejmek, P. and Aguilera, J., "Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis", *Postharvest Biology and Technology* 41, no. 3, pp. 285-295.
- [10] Zeuch, N., *Understanding and applying machine vision*, Nueva York, EE.UU: Marcel Dekker, Inc, 2000, pp. 166.
- [11] Konika Minolta: CR-400/410. 2002. Disponible en http://www5.konicaminolta.eu/fileadmin/CONTENT/Measurement_Instruments/Download/Catalogue_Download/Catalogue_PDFs/CR400_E16.pdf