

Sistema de visión artificial para análisis de color aplicado al control de calidad del piloncillo

LÁRRAGA-ALTAMIRANO, Hugo*†, PIEDAD-RUBIO, Ana, ZAPATA-GARAY, Nitgard y GARCÍA Aldape, Horacio

Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, Carretera al Ingenio Plan de Ayala Km. 2, Vista Hermosa, 79010 Cd Valles, S.L.

Recibido Enero 4, 2017; Aceptado Marzo 1, 2017

Resumen

La agroindustria en sus procesos de transformación de materia prima, requiere de controles de aseguramiento de la calidad para obtener productos preferibles por el mercado consumidor. Estos controles deben incorporar métodos con mayor objetividad que tan solo la inspección visual. Tal es el caso de la industria piloncillera de la Huasteca Potosina, México, que aún recurre a prácticas artesanales para la producción, con un nulo control de calidad. El presente proyecto focaliza su área de estudio en la integración de un sistema de visión artificial (CVS por sus siglas en inglés) capaz de identificar las diferencias de color del piloncillo, como una característica de calidad deseada por los consumidores, la cual puede llegar a ser indicador de aceptación o rechazo. No tiene como finalidad la medición absoluta del color, si no, determinar el grado de uniformidad del color en el objeto. Se expone el algoritmo diseñado para el desarrollo del sistema, con las condiciones de iluminación necesarias, la implementación del método de segmentación por frontera, así como la aplicación del método K-means para agrupamiento de píxeles y la fórmula CIEDE2000 para el cálculo de las diferencias de color.

Sistema de visión artificial, Control de calidad, K-means, Segmentación por frontera, Uniformidad del color

Abstract

ATProud is part of a system for the analysis of Agro-industry in its processes of transformation of raw material, requires quality assurance controls to obtain products preferable by the consumer market. These controls must incorporate methods with greater objectivity than just the visual inspection. Such is the case of the “piloncillo” industry at the Huasteca Potosina, Mexico that still uses artisan practices for production, with no quality control. The present project focuses its area of study in the construction of an artificial vision system (CVS) capable of identifying the color differences of the piloncillo, as a quality characteristic desired by the consumers, which can be an indicator of acceptance or rejection. It does not aim at the absolute color measurement, but, to determine the degree of color uniformity in the object. Along this study is shown the algorithm designed for the system developing, with the necessary lighting conditions, the implementation of the border segmentation method, as well as the application of the K-means method for grouping pixels and the fórmula CIEDE2000 for calculating the differences of color.

Computer Vision System, Quality Control, K-means, Border segmentation, Color uniformity

Citación: LÁRRAGA-ALTAMIRANO, Hugo, PIEDAD-RUBIO, Ana, ZAPATA-GARAY, Nitgard y GARCÍA Aldape, Horacio. ATProud: Sistema de visión artificial para análisis de color aplicado al control de calidad del piloncillo. *Revista de Investigación y Desarrollo* 2017,3-7: 9-17

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: hugo.larraga@tecvall.es.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El color es una característica importante de calidad en los productos alimenticios, puede llegar a ser indicador de aceptación o rechazo en su consumo. De esta manera, la inspección visual (medición subjetiva) juega un papel importante en evaluar, por ejemplo, la condición sanitaria del producto, el estado de madurez de una fruta, inclusive pronosticar el sabor, entre otros factores.

La agroindustria en sus procesos de transformación de materia prima, requiere de controles de aseguramiento de la calidad para obtener productos preferibles por el mercado consumidor; el color es el primer parámetro a considerar para la compra. Estos controles deben incorporar métodos con mayor objetividad que tan solo la inspección visual, comúnmente con apoyo de algunas herramientas tales como: colorímetros, espectrofotómetros, cámaras digitales y software de procesamiento de imágenes que cuantifiquen con mayor exactitud elementos distintivos de calidad, entre ellos el color, la textura y la forma (Moreno, W. Q., Gallardo, I., & Torres, M., 2016).

Justificación

La industria piloncillera de la Huasteca Potosina, México, cuyo producto endulcorante ha tenido buena aceptación en el mercado, recurre aún a prácticas artesanales para la manufacturación, carentes de métodos estandarizados de producción y por lo tanto con un nulo control de calidad. Algunos de los problemas en la comercialización del piloncillo guardan relación con aspectos tales como:

- Limitada aplicación de normas de higiene en el proceso.
- Reducido uso de equipo y accesorios de acero inoxidable.
- Diferente tamaño y color del producto. (del Moral, 1995).

Problema

Por lo anterior, el presente proyecto focaliza su área de estudio en la construcción de un sistema de visión artificial (CVS por sus siglas en inglés) capaz de identificar las diferencias de color del piloncillo, como una característica de calidad deseada por los consumidores.

Hipótesis

A través de técnicas de procesamiento de imágenes es posible establecer un sistema de inspección visual artificial que determine el grado de uniformidad del color del piloncillo. Este proyecto es de impacto en el control de calidad del producto y contribuye a la innovación de la industria piloncillera de la región.

Objetivos**Objetivo General**

Es importante remarcar que la diferencia de color es la magnitud obtenida cuando se compara una muestra de color respecto a un patrón definido, no la exactitud en la medida absoluta del color (Valencia Díaz, 2007).

En ese sentido el sistema desarrollado determina el porcentaje de uniformidad del color del producto, no la fidelidad en la reproducción de color.

Objetivos específicos

Para la integración del CVS es necesario considerar lo siguiente:

- Configurar un escenario de iluminación con las características adecuadas que permitan la obtención de la imagen. a través de una cámara digital.
- Diseñar una metodología de segmentación efectiva para separar el área de interés del resto de la imagen.

- Determinar el método para calcular la uniformidad de color del producto.

También, se mostrarán los resultados obtenidos en cada fase del algoritmo con algunas notas sobre el lenguaje de programación utilizado y, por último, se concluirá con un análisis del funcionamiento del sistema integrado, así como los trabajos futuros.

Marco Teórico

Un sistema de visión artificial se compone de varios elementos que interactúan entre sí para cumplir con el propósito de la aplicación; en términos generales estos son: la iluminación, los sensores (dispositivos para captura de la imagen) y el software de control, el cual considera la implementación de algoritmos de procesamiento de imágenes en algún lenguaje de programación. Específicamente para el sistema propuesto son dos los módulos principales del software, la segmentación y la evaluación del color.

Segmentación

El proceso de segmentación tiene por objetivo extraer el área de interés de las partes de la imagen que no son útiles para el procesamiento. Existen varias técnicas de segmentación conocidas, como la detección de bordes, umbralización, crecimiento por regiones, entre otras. La aplicación de operaciones morfológicas es muy común en la tarea de segmentar para definir con mayor precisión el área de interés; de las más utilizadas es la dilatación (agregar píxeles) y la erosión (remover píxeles).

Evaluación del color

El color es un descriptor cuantificable y por lo tanto medible para un sistema de visión artificial, de manera que un espacio de color facilita la especificación de este de manera normalizada.

Existen diversos espacios de color como el RGB y el Lab, ambos utilizados en este proyecto. Para la evaluación del color, la Comisión Internacional del Color (CIE) recomienda el uso de fórmulas que calculan la diferencia entre dos patrones de color, conocidas como CIELAB y CIEDE2000.

Trabajos realizados en estos campos han guiado la realización de la actual investigación, dos de los de mayor aportación son:

- Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy (Acero, Á. R., Cano, A. M., & Builes, J. A. J., 2015). Donde se presenta un sistema de visión artificial para clasificar el mango tipo Tommy de acuerdo a sus atributos de color y tamaño. El interés en este proyecto es el método de segmentación basado en frontera como una alternativa viable y de fácil implementación.
- Procesado de imagen digital en color: Adquisición, Análisis Colorimétrico y Realce (Valencia Díaz, 2007). La cual, en el capítulo III denominado *Medida de la diferencia de color entre muestras uniformes mediante cámara*, explica el uso de las fórmulas CIE empleadas para evaluar el color, así como la efectividad de una cámara digital para determinar la uniformidad de esta característica, comparada contra un equipo espectrorradiómetro.

Metodología de Investigación

La metodología definida para la realización de este proyecto integra diferentes momentos o fases de desarrollo, mismas que son posibles clasificarlas (de acuerdo a los procesos que llevan a cabo) en tres niveles: bajo, intermedio y alto (L. Enrique Sucar, 2011). Adicionalmente, se consideran aspectos externos al software como la iluminación, debido a la injerencia directa que tiene sobre la lectura fidedigna del color.

Tipo de Investigación

Se busca generar conocimiento en el área de visión artificial a través de la investigación, aplicada en los problemas del sector agroindustrial de la Huasteca Potosina, México. El resultado esperado es un producto de software orientado a la inspección industrial que analiza la uniformidad del color de un cuerpo, pudiendo ser implementada como apoyo en los procesos de control de calidad de Pasa/No Pasa.

Metodología de desarrollo

En efecto, la **iluminación** juega un papel importante en el diseño de los sistemas de visión artificial, afecta las características de color de la imagen y con esto, atenta contra la confiabilidad de los datos de entrada (Jaramillo Ortiz, Jiménez, & Ramos, 2014). El cuestionamiento entonces, radica en como determinar la fuente luminosa a utilizar para esta aplicación, la cual recordemos no tiene como finalidad la medición absoluta del color, si no, determinar el grado de uniformidad del color en el objeto.

De acuerdo a la norma ISO 3664:2009 son cinco las condiciones a tomar en cuenta para la elección de un sistema de iluminación: *la calidad del color*; 5.500 Kelvin representan la luz del día teóricamente perfecta, *la intensidad de la luz*; la iluminación recomendada es de 2000luxes con un índice de reproducción de color mayor de 80, *la uniformidad*; intensidad de al menos 1200 luxes (60% de 2000 lx) en todos los puntos de la superficie de revisión, *el entorno*; debe ser neutro y mate, con reflectancia luminosa entre 10% y 60% (gris Munsell N8), *la geometría*; la fuente de luz y el observador deben posicionarse de modo que se minimice la reflexión especular (brillo) (International Organization for Standardization, 2009).

La configuración adecuada del escenario de iluminación facilita el proceso de **segmentación** del área de interés.

Para este caso, se implementa un metodo de frontera, ya que el producto a inspeccionar (piloncillo) supone un color uniforme y contrastante con el entorno, de manera que los bordes del mismo pueden ser identificados claramente. Un borde se identifica como una discontinuidad significativa en el nivel de gris entre dos regiones adyacentes. Estas discontinuidades pueden detectarse mediante derivadas de primer y segundo orden, las cuales utilizan el operador gradiente y el laplaciano respectivamente. Para el caso particular de esta práctica se utiliza el gradiente de la imagen, el cual se representa mediante la ecuación 1.

$$G(F(x, y)) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dF/dx \\ dF/dy \end{bmatrix} \quad (1)$$

Con esto, se pretende encontrar los píxeles cuya intensidad sea mayor en magnitud que un umbral especificado, tal cual lo realiza el operador Sobel. (Palomino, N. L. S., & Concha, U. N. R., 2009).

La segmentación involucra operaciones a bajo nivel que permitan descartar los bordes falsos una vez aplicada la detección de contornos, la Figura 1 ilustra el flujo completo del proceso.



Figura 1 Método de segmentación (Fuente propia)

Es necesario transformar el espacio de color RGB (Red-Green-Blue) de la imagen original a escala de grises, sobre la cual se aplica el operador Sobel. Para definir con mayor precisión los bordes se realiza una operación de cierre, es decir, se dilata la imagen para unir los bordes, se rellenan el área de los contornos cerrados y, por último, se erosionan los píxeles que no pertenecen al área de interés. Con la versión binaria de la imagen original, los píxeles de los objetos contenidos en ella tienen un valor de 1, de tal manera que es posible reconocer las coordenadas que delimitan a cada objeto, así como su área, útil para discriminar aquellos falsos positivos. La imagen segmentada es formada por el producto de la original y la máscara (imagen binaria), ambas correspondientes en dimensiones. (Acero, Á. R., Cano, A. M., & Builes, J. A. J., 2015).

Aun cuando se ha extraído el objeto a estudiar del resto de la imagen, este es una colección de píxeles considerablemente grande para ser evaluados uno a uno en el análisis de color. Para optimizar la **evaluación del color** se propone agrupar los píxeles con características similares (color similar) y determinar un valor que represente a cada grupo a través del método de clusterización k-means. El número de grupos será el número de colores con los cuales se definirá al objeto, entre mayor número de agrupaciones se obtengan se tendrá un análisis más pormenorizado de la uniformidad. Algunas aplicaciones identifican pequeños defectos por medio de la variación de color o textura, para la cual se requiere contar con la mayor cantidad de información posible acerca del color, en cambio otras pasan por alto defectos mínimos, pues su interés radica en otras características del objeto.

Es importante conocer la proporción de cada color en la imagen de estudio que ayude a determinar el grado de uniformidad, también, establecer un patrón de color que funcione como muestra de control para realizar las comparaciones.

Para determinar las diferencias de color se usó la fórmula recomendada por la CIE (Comisión Internacional del Color), CIEDE2000 representada por la ecuación 2.

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + RT \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2} \quad (2)$$

Para la aplicación de la ecuación (2) se maneja el espacio de color CIELAB, uno de los más usados en el tratamiento de imágenes, debido a que abarca varios atributos perceptivos del color como son: cantidad de luz, saturación y tono. El ΔE_{00} es la distancia euclídea entre dos puntos, entre mayor sea la distancia menor es la similitud del color entre estos (Pinto Sánchez-Matamoros, 2015). La interpretación de estos valores está en función nuevamente del tipo de aplicación que se desarrolle, con la posibilidad de tomar como referencia la norma ISO 12647 para evaluar las diferencias de color, tabla 1. (International Organization for Standardization, 2004)

ΔE	Calidad
1	Excelente
1-2	Buena
2-4	Normal
4-5	Suficiente
>5	Mala

Tabla 1 Interpretación ΔE por ISO 12647

Lo anterior, permite al software evaluar cada grupo de píxeles para calcular su diferencia de color respecto a la muestra control y, determinar a través de esta magnitud la uniformidad (grado de similitud). Cada color del objeto cuyo ΔE se encuentre dentro del rango de 1 a 5 se considerará uniforme.

Resultados

La construcción del CVS sigue una metodología ágil de desarrollo, por lo que se identifican 3 módulos principales: la interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés), la segmentación y la evaluación de color.

El lenguaje de programación seleccionado es Matlab R2015a, una suite de desarrollo de software con librerías orientadas al procesamiento de imágenes (MathWorks, 2005). El equipo de prueba (hardware) utilizado consta de una cámara web, equipo de cómputo con 8 Gb RAM, microprocesador Intel CoreI5.

El módulo de segmentación recibe como entrada la imagen original en RGB, adquirida desde una caja de iluminación con una fuente de luz tipo arreglo de leds de 4500K y fondo gris neutro. La salida es una subimagen que muestra solo al piloncillo en un fondo negro, de dimensiones similares a las del tamaño del objeto. En la implementación se utilizaron varias funciones de la librería de Matlab para procesamiento de imágenes, las cuales se describen en la tabla 2.

Función	Operación
<code>rgb2gray(img);</code>	Transformación a escala de grises
<code>edge(imggray,'sobel');</code>	Detección de bordes
<code>strel('disk',5); imgDi = imdilate(im_edge, SE);</code>	Dilatación de bordes
<code>imfill (imgDi,'holes');</code>	Relleno de formas
<code>strel('disk', 8); imerode(imgfill,SE);</code>	Erosión de residuos
<code>bwboundaries(imggray_erode,'noholes'); regionprops(L,'Area');</code>	Identificación de objetos y cálculo del área

Tabla 2 Funciones para segmentar

Se realizaron varias pruebas con sujetos de muestra para determinar la efectividad de la metodología, la Figura 3 y 4 muestran los resultados de este módulo.

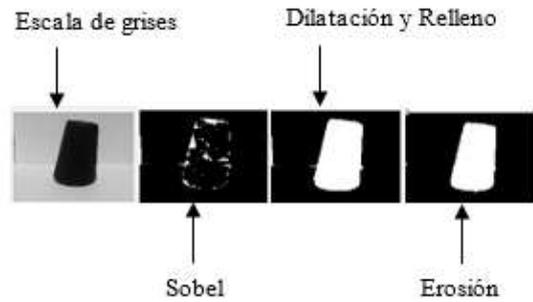


Figura 3 Proceso de segmentación

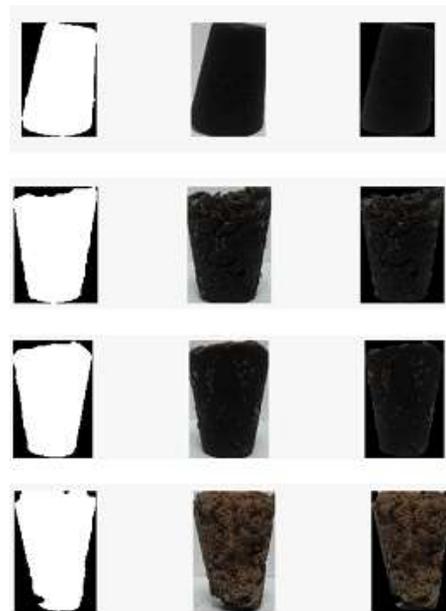


Figura 2 Obtención de la imagen segmentada

La configuración de la función *kmeans(...)* para el agrupamiento de pixeles consiste en definir el número de grupos, la iteración máxima y las replicaciones por iteración entre otros parámetros. Esta genera dos matrices, una con los centroides (pixel representativo) y la otra con las etiquetas de cada grupo, las cuales son evaluadas por la función *imhist(...)* para determinar la cantidad de pixeles de cada uno de ellos. Para aplicar la fórmula CIEDE2000 se ha recurrido a importar la biblioteca *optprop* para hacer uso de la función *de2000(muestra,control)* que recibe como parámetros dos valores Lab. Los resultados de este módulo se muestran en la tabla 3 (MathWorks, 2005).

Sujeto	Imagen Segmentada	Patrón de comparación	Uniformidad
1		L: 5.2274 a: -0.0706 b: -0.0706	94%
2		L: 5.2274 a: -0.0706 b: -0.0706	82%
3		L: 5.2274 a: -0.0706 b: -0.0706	93%
4		L: 5.2274 a: -0.0706 b: -0.0706	6%
5		L: 20.7703 a: 5.4612 b: 9.6655	51%

Tabla 3 Evaluación de color

Las mediciones de cada prueba (tabla 4), presentan los colores en CIELAB que definen al producto, los porcentajes de cada color y el valor de ΔE (la diferencia de color cuando se compara contra el patrón).

L	a	b	%	ΔE	Sujeto
4.76300075	-0.05864639	-0.03254453	25	0.28093324	1
11.8563107	-0.304364	0.05974599	9	4.11292272	
8.42238504	-0.38823677	0.05858212	17	2.00320815	
0.00119861	8.8465E-05	8.3428E-05	0	3.06311698	
3.33998448	-0.18850114	0.01070072	23	1.13833248	
60.8227119	-1.24523488	-2.1955599	0	44.6859328	
5.89335396	-0.19643179	-0.10268774	20	0.44304325	
15.9886025	-0.23472255	0.00341282	4	6.78516658	
29.9497056	0.00479174	0.39577386	0	16.6929218	
22.1751961	-0.20226131	0.48405348	1	11.0176301	
13.7975502	0.33168661	1.70705041	9	5.64218153	2
3.45041485	-0.07736071	0.13572108	17	1.07658205	
5.40416483	0.02671993	0.26024134	32	0.37521423	
0.11389773	-0.01884092	0.0085188	0	2.99801041	
60.0164873	0.33091576	0.69726549	0	43.7562124	

18.5892602	0.73326876	3.22281451	5	9.12875276	3
10.6605998	0.0639574	0.93930664	12	3.48833138	
25.3567202	1.11006632	4.71642453	3	14.0493748	
8.02044442	0.04739404	0.60298751	21	1.83000614	
34.5966307	1.69661583	6.77321572	1	21.2685143	
20.0245058	2.81675475	5.70581332	2	11.3744055	
11.6956914	0.53789686	1.57599252	9	4.38725345	
4.92564881	0.04422308	0.80552368	30	0.89700734	
32.3397049	3.94430646	8.79319224	0	20.4582732	
0.01013922	-0.00046005	0.00192377	0	3.0580209	
15.2557366	1.18982086	2.81255093	4	7.07100847	
6.00482269	0.18449735	0.74644556	19	1.00385663	
3.6265173	0.00561606	0.63897254	16	1.188065	
8.3473493	0.40942955	1.10953919	19	2.32690365	
25.6780006	4.35432083	8.23597566	1	16.0284899	
3.46446222	1.15432572	1.53600157	6	2.55336775	
11.1890926	4.23425853	6.6284418	15	8.56670569	
20.7703272	5.46117564	9.66549396	18	14.1474024	
0.01359729	0.00342977	0.00598009	0	3.05634876	5
65.2439306	-0.99897617	0.1202282	0	49.5390234	
31.0264689	5.98468722	13.0110293	12	21.1015533	
25.8861376	5.88000073	11.2921386	15	17.5121352	
37.209973	5.53003935	13.8308758	7	25.4034433	
15.8515969	5.01627575	8.22391702	16	11.2472106	
6.66828189	2.72680513	3.57716915	11	5.04879524	
4.8765776	1.82697271	2.40298937	13	12.206883	
30.9313714	5.99742029	12.9853414	12	7.82460538	
14.6788885	4.95988325	7.97193761	14	4.30490052	
18.6257738	5.1996794	8.92408795	12	1.57888725	
22.2222489	5.64256217	10.1581985	12	1.08282582	
10.0475302	3.88429981	5.93262287	16	7.70119969	
37.0591788	5.53207164	13.8314641	7	12.7785893	
26.2184431	5.88287152	11.3950574	13	4.09452094	
0.04270225	0.01287941	0.01937818	0	16.3247766	
65.2439306	-0.99897617	0.1202282	0	42.320829	

Tabla 4 Valores evaluación color

Para hacer amigable la experiencia del usuario en la operación del sistema, la GUI incorpora controles que vuelven intuitivo la realización de las tareas, los cuales se describen en la tabla 5.

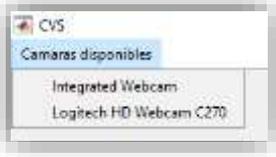
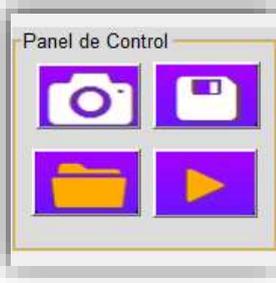
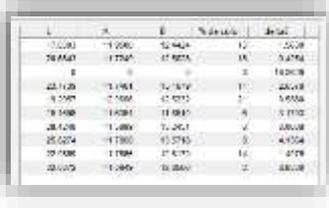
	<p>Seleccionar la cámara disponible</p>
	<p>Panel de control (adquisición de la imagen, ejecución del proceso de evaluación de color, guardar la imagen y la tabla de colores, o bien abrir una imagen previamente almacenada)</p>
	<p>Configuración del patrón de comparación</p>
	<p>Visualización del grado de uniformidad y representación gráfica de los colores que componen el objeto</p>
	<p>Valores CIELAB, porcentajes de color y ΔE</p>

Tabla 5 Controles de la GUI

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto No. 5721.16-P *Implementación de algoritmos de procesamiento de imágenes para diseño de software de medición de color, aplicado al control de calidad en la industria alimenticia*, que hizo posible esta investigación.

Conclusiones

El efecto lumínico es decisivo en la fidelidad del color y la efectividad del proceso de segmentación, quizá estos aspectos puedan ser mejorados logrando independencia entre ambos procesos. También la segmentación ofrece oportunidades de mejora, otras metodologías empleadas realizan combinaciones de umbralización y frontera o bien, usan la clusterización para determinar el o los objetos de interés.

El sistema de visión artificial construido evalúa la uniformidad del color en el piloncillo, como es observable en la tabla 4, los valores ΔE mayores a 5 no son considerados uniformes. En la tabla 3, las pruebas 4 y 5 son el mismo sujeto pero con patrones de comparación diferentes, el valor de uniformidad máximo es de 51% lo que puede deducirse como defectos en el producto. Esto significa que, configurado el patrón de color preferente por el mercado consumidor, el CVS actúa como un inspector de calidad para tomar decisiones de venta.

La evaluación del color no solamente es útil como un sistema de aceptado/rechazado, la variación de color es un parámetro usado para determinar las condiciones de producción, por lo tanto, es posible utilizar la aplicación para apoyar en la definición de esquemas de fabricación controlados.

En prospectiva, para lograr un sistema de inspección visual con mayor autonomía, el análisis de color puede ser complementado con la evaluación de la textura y la forma, características que posibilitan la identificación de defectos tales como grietas, burbujas, orificios, diferencias de tamaño y anomalías en la geometría del producto.

Referencias

Acero, Á. R., Cano, A. M., & Builes, J. A. J. (2015). Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy. *Revista UIS Ingenierías*, 14(1).

del Moral, J. B. (1995). La producción piloncillera en la Huasteca potosina. *Rev. Geograf. Agríc.*, 21, 89-96.

International Organization for Standardization. (2004). *ISO 12647-2:2004(E) Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints*. Switzerland: ISO.

International Organization for Standardization. (2009). *ISO 3664:2009(E) Graphic technology and photography - Viewing conditions*. Switzerland: ISO.

Jaramillo Ortiz, A., Jiménez, R., & Ramos, O. L. (2014). Inspección de calidad para un sistema de producción industrial basado en el procesamiento de imágenes. *Tecnura*, 18(41), 76-90.

L. Enrique Sucar, G. G. (2011). *Visión Computacional. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*. Puebla, México, 96-98.

MathWorks, I. (2005). *MATLAB: the language of technical computing. Desktop tools and development environment, version 7*. MathWorks.

Moreno, W. Q., Gallardo, I., & Torres, M. (2016). El color en la calidad de los edulcorantes de la agroindustria panelera. *Afinidad*, 73(573).

Palomino, N. L. S., & Concha, U. N. R. (2009). Técnicas de segmentación en procesamiento digital de imágenes. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 6(2), 9-16.

Pinto Sánchez-Matamoros, L. F. (2015). *Análisis de la aplicación de algoritmos de K-means y Continuous Max-Flow a la segmentación de imágenes en color*.

Valencia Díaz, E. (2007). *Procesado de imagen digital en color: Adquisición, Análisis Colorimétrico y Realce*. Universitat Politècnica de Catalunya.