

ESTUDIO DE LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COLOR DE PLÁTANO UTILIZANDO UN SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADORA

Data de submissão: 09/06/2023

Data de aceite: 01/08/2023

Russel Allidren Lozada Vilca

Universidad Nacional de Juliaca. Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8915-3964>

Adriana Fiorela Aucallpa Paucar

Universidad Nacional de Juliaca. Perú
<https://orcid.org/0009-0000-5508-8028>

Greysi Lizbeth Rojas Reyes

Universidad Nacional de Juliaca. Perú
<https://orcid.org/0009-0003-8657-117X>

Laura Beatriz Marina Quispe Coaquira

Universidad Nacional de Juliaca. Perú
<https://orcid.org/0009-0008-2912-373X>

Jose Manuel Prieto

Universidad Nacional de Juliaca. Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6280-7844>

Pedro Nicoyani Mamani Ordoñez

Universidad Peruana Unión. Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6975-8763>

Madelaine Huánuco Calsín

Universidad Nacional del Altiplano. Perú
<https://orcid.org/0000-0002-4050-8146>

Valeriano Pari Torres

Universidad Continental- Perú
<https://orcid.org/0009-0009-4069-2607>

Ciro William Taipe Huamán

Universidad Nacional de Juliaca. Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6075-5582>

Susana Gladis Vilca Achata

Escuela de Postgrado GĔRENS
<https://orcid.org/0000-0002-9914-6012>

Olivia Magaly Luque Vilca

Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca
<https://orcid.org/0000-0002-9000-4624>

RESUMEN: El objetivo de esta investigación fue diseñar, implementar y calibrar un Sistema de Visión por Computador (CVS), para uso en tiempo real, con la finalidad de evaluar la maduración del plátano. Para ello se diseñó e implementó un dispositivo (software y hardware) que constaba de dos pasos: a) adquisición de imágenes y b) procesamiento y análisis de imágenes. Para ambos, se desarrolló un algoritmo y una interfaz gráfica de usuario (GUI) en Framework: Visual Studio mediante el lenguaje: C#. La calibración CVS se realizó mediante escalas colorimétricas del plátano. Se obtuvieron tres muestras de plátano y se almacenaron a temperatura ambiente. Se estimaron los cambios de color cada 2 h, durante 24 h, obteniendo sus parámetros de color. L*disminuyó de 88,89 a 60,8, con tendencia al color negro; a* aumentó de -30,02 a 18,18, acercándose a un color

verde; b^* aumentó de 53,05 a 87,07, presentando tendencia a un color amarillo. Por otro lado, ΔE^* aumentó de 3,4 a 12,6. Los errores calculados fueron bajos de esta forma aseguran una adecuada y eficiente aplicación en la automatización de procesos industriales y control de calidad en la industria alimentaria.

PALABRAS-CLAVE: *Algoritmo, color, CIEL *A*B, plátano, lenguaje C, visión artificial.*

STUDY OF THE MEASUREMENT OF THE COLOR PARAMETERS OF BANANA USING A COMPUTER VISION SYSTEM

ABSTRACT: The objective of this Investigation was to design, implement and calibrate a Computer Vision System (CVS), for use in real time, in order to evaluate plantain ripening. To this end, a device (software and hardware) was designed and implemented that consisted of two steps: a) image acquisition and b) image processing and analysis. For both, an algorithm and a graphical user interface (GUI) were developed in Framework: Visual Studio using the language: C#. CVS calibration was performed using banana colorimetric scales. Three banana samples were obtained and stored at room temperature. The color changes were estimated every 2 h, during 24 h, obtaining their color parameters. L^* decreased from 88.89 to 60.8, with a tendency to black; a^* increased from -30.02 to 18.18, approaching a green color; b^* increased from 53.05 to 87.07, presenting a tendency to a yellow color. On the other hand, ΔE^* increased from 3.4 to 12.6. The calculated errors were low, thus ensuring an adequate and efficient application in the automation of industrial processes and quality control in the food industry.

KEYWORDS: *Algorithm, CIEL *A*B, color, banana, C language, artificial vision.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los esquemas de control de calidad en los procesos de la industria alimentaria peruana, deben ser lo más óptimos posible, debido a la alta competitividad existente en el mercado global (Ramírez Ramírez, 2015). Teniendo en cuenta que para el sostenimiento de la industria alimentaria peruana es de vital importancia la exportación, que exige cumplir ciertos estándares cada vez más estrictos; el proceso de control de calidad representa el principal factor a tener en cuenta dentro de este marco; es obvio que, en el proceso de control de calidad en la clasificación de productos, son necesarios los órganos de los sentidos (humano), principalmente el sentido de la visión, es aquí donde entra a jugar un rol fundamental la visión artificial, que se encarga de reemplazar el uso común de la visión de una persona, por el de la máquina, brindando de esta manera bondades tales como, mayor capacidad de proceso, toma de decisiones y reducciones de tiempos de producción (Euroinnova Business School, 2022).

Enfocando un poco el tema a la región de Puno, la cual está incursionando en el mercado internacional como proveedor de plátanos, para tener una buena aceptación en tan exigente mercado, debe mostrar una muy buena calidad en su producto, por lo cual, esta investigación procurará con ayuda de la visión artificial contribuir con los productores

de esta fruta a mejorar el proceso de control de calidad en su respectiva clasificación y así cumplir con los estrictos estándares internacionales de exportación antes mencionados (Vela Panduro, Claudio Ramón Vidal Marca, Javier, 2007). En pro del desarrollo de una región productiva y de alta competitividad, debemos procurar hacer uso en lo posible de herramientas que nos permitan agilizar y optimizar procesos, con la intención de poder mantenernos en un mercado tan exigente como lo es el mercado internacional; en este caso se hace referencia a la utilización de la visión artificial o por computador, que en lo posible logre realizar esta actividad de manera tan rigurosa como lo hace el hombre al momento de evaluar los parámetros de calidad establecidos, que en este caso son, que el plátano debe cumplir un cierto calibre (peso o volumen en el empaque) y color, de acuerdo a este calibre los plátanos serán clasificados teniendo en cuenta masa (peso), tema que se aclara más adelante y de acuerdo a su color se clasificará como de exportación o no (Atencio Ortiz, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

Materia prima

Plátano

Materiales

Webcam

Caja de visión

Laptop

Diseño del prototipo para caja de color (SVC/CVS)

El CVS consiste en una caja de madera cuyas paredes interiores son pintadas de negro con el propósito de evitar la entrada de luz y reducir los reflejos provenientes del entorno (Pedreschi et al., 2006), iluminado por cuatro focos de 20 W que están en los 4 extremos y el sistema de captura (Cámara web cam xiaomi CMSXJ22A - 2 mpx) conectado a una laptop Ryzen 7, posición vertical para que se tenga una adecuada toma de imagen.

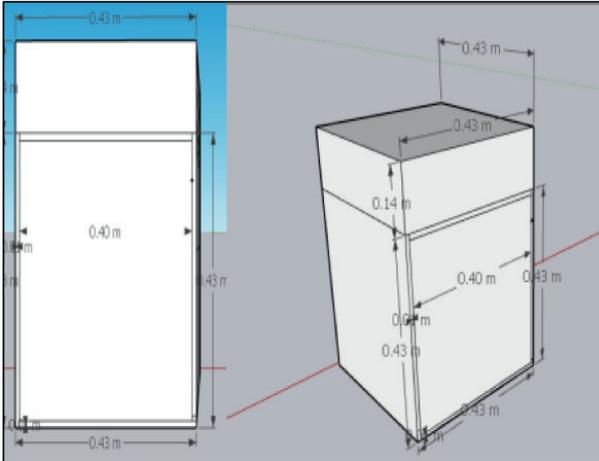


Figura 1. Diseño de caja en Sketchup



Figura 2. Caja ya instalada con focos y cámara web

Desarrollo del algoritmo y la interfaz gráfica de usuario (GUI) en Framework: Visual Studio Lenguaje: C#

La interfaz gráfica de usuario (GUI) creada en Framework: Visual Studio fue utilizada para extraer las características de color de la imagen en el proceso descrito a continuación. Las muestras de plátano fueron preparadas y colocadas en el CVS. Luego, las luces se encendieron y se esperó durante 5 minutos para permitir que la luz se distribuyera de manera uniforme dentro del sistema. Posteriormente, se inició la GUI, la cual permitió la adquisición de imágenes y la segmentación mediante umbralización. Finalmente, se obtuvieron los parámetros de color Lab* a partir de los parámetros RGB utilizando ecuaciones específicas.

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16; a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - \left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]; b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

La diferencia de color ΔE entre dos colores en el espacio CIELAB es:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

Un valor de ΔE representa una diferencia apenas perceptible. Estas coordenadas se pueden expresar en coordenadas cilíndricas con el croma definido:

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Y el tono se define como:

$$h_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

a) Primera fase. Implica la conversión de RGB a XYZ, usando un arreglo dimensional de números estándar recomendado por la CIE y más adecuado a la iluminación que se

utilizó (Blasco et al., 2007).

b) Segunda fase: De XYZ al espacio de color CIE Lab, utilizando el arreglo dimensional, se obtuvo los valores X, Y y Z.

Para cuantificar los cambios de color totales, se calculó la diferencia de color total (ΔE) del plátano (almacenadas a temperatura ambiente) por un tiempo de 2- 24 h.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

Calibración del CVS con escalas colorimétricas del plátano (Modelo CIE L * a * b *)

Para calibrar el CVS se realizó mediante una búsqueda bibliográfica de escalas colorimétricas de la maduración del plátano. Obteniéndose los valores de L*a*b* con escalas de maduración en serie con el mismo CVS.

Evaluación de los parámetros de medición del color en el plátano

Los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C^* , H^* y ΔE^*), se llevaron a cabo en tres muestras de plátano almacenadas a temperatura ambiente. Cada 2 h durante un periodo de 24h, se adquirieron y procesaron estas muestras, evaluando las imágenes resultantes (740 x 460 píxeles) en coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*). El parámetro L^* se refiere a la luminosidad y representa la cantidad de luz emitida por una superficie, variando desde 0 (negro absoluto) y 100 (blanco absoluto). Por su parte, los parámetros a^* y b^* corresponden a la cromaticidad. El parámetro a^* define la componente rojo-verde, siendo positivo para tonos rojos y negativo para tonos verdes. El parámetro b^* representa la componente amarillo-azul, siendo positivo para tonos amarillos y negativo para tonos azules (León et al., 2006).

RESULTADOS

Diseño del prototipo del cvs

El diseño del prototipo del CVS consideró la iluminación vertical para evitar reflejos, y se utilizó el espacio de color CIE Lab, que ofrece una representación más uniforme y adecuada para la cuantificación del color en alimentos.

- Implementación del cvs..

El sistema de CVS implementado captura imágenes utilizando una cámara de video digital, procesa estas imágenes en el espacio de color RGB y realiza una segmentación basada en la relación de rojo y azul. Posteriormente, se convierten los píxeles al espacio de color Lab*, aunque se reconoce que esto puede implicar una pérdida de precisión. Es importante tener en cuenta la existencia

de múltiples matrices de conversión de RGB a XYZ debido a la dependencia en programas algorítmicos.

Algoritmo desarrollado para el procesamiento de imágenes

Se implementó un algoritmo de análisis de imágenes realizado en Framework: Visual Studio Lenguaje: C#. (Tabla 1) para estimar el color y una GUI sencilla para caracterizar el color en las superficies planas del plátano.

```
1. //
2. // CIELAB
3. //
4. using System;
5. using System.Drawing;
6.
7. struct CIELAB
8. {
9.     private const double Xn = 0.9
50456;
10.    private const double Yn = 1.0
;
11.    private const double Zn = 1.0
88754;
12.
13.    private double l;
14.    private double a;
15.    private double b;
16.
17.    public double L
18.    {
19.        get { return l; }
20.        set { l = value; }
21.    }
22.
23.    public double A
24.    {
25.        get { return a; }
26.        set { a = value; }
27.    }
28.
29.    public double B
30.    {
31.        get { return b; }
32.        set { b = value; }
33.    }
34.
35.
36.    public CIELAB(Double _L, Double _A, Double _B)
37.    {
38.        l = _L;
39.        a = _A;
40.        b = _B;
41.    }
42.
43.    public CIELAB(Color rgb)
44.    {
45.        CIELAB _lab = CIELAB.Parse
(rgb);
46.        l = _lab.L;
47.        a = _lab.A;
48.        b = _lab.B;
49.    }
50.
51.    public CIELAB(CIEXYZ xyz)
52.    {
53.        CIELAB _lab = CIELAB.Parse
(xyz);
54.        l = _lab.L;
55.        a = _lab.A;
56.        b = _lab.B;
57.    }
58.
59.    ///<summary>
60.    /// Color~>变换
61.    ///</summary>
62.    ///<param name="" hsv="">///
<returns></returns>
63.    public Color ToColor()
64.    {
65.        return ToCIEXYZ().ToColor();
66.    }
67.
68.    ///<summary>
69.    /// CIEXYZ~>变换
70.    ///</summary>
71.    ///<param name="" hsv="">///
<returns></returns>
72.    public CIEXYZ ToCIEXYZ()
73.    {
74.        double _delta = 6.0 / 29.0;
75.        double _fy = (l + 16.0) / 116.0;
;
76.        double _fx = _fy + a / 500.0;
77.        double _fz = _fy - b / 200.0;
78.
79.        double _x, _y, _z;
80.
81.        if (_fx > _delta)
82.        {
83.            _x = Xn * Math.Pow(_fx, 3);
84.        }
85.        else
86.        {
87.            _x = (_fx - 16.0 / 116.0) * 3 *
Math.Pow(_delta, 2);
88.        }
89.
90.        if (_fy > _delta)
91.        {
92.            _y = Yn * Math.Pow(_fy, 3);
93.        }
94.        else
95.        {
96.            _y = (_fy - 16.0 / 116.0) * 3 *
Math.Pow(_delta, 2);
97.        }
98.
99.        if (_fz > _delta)
100.        {
101.            _z = Zn * Math.Pow(_fz, 3);
102.        }
```

```

103.     else
104.     {
105.         _z = (_fz - 16.0 / 116.0) * 3 *
Math.Pow(_delta, 2);
106.     }
107.
108.     return new CIEXYZ(_x, _y, _
z);
109. }
110.
111.     ///

```

```

150.     return CIELAB.Parse(_xyz);
151. }
152.
153.     ///

```

```

209.     ///

```

Tabla 1.

Algoritmo de análisis de imágenes

Calibración del CVS

Se observaron pequeñas diferencias entre los valores de los parámetros de color

(L^* , a^* y b^*) obtenidos por el colorímetro y el CVS También se observó que la conversión del modelo de RGB a $L^* a^* b^*$, obtenida a partir de imágenes generadas por CVS, es confiable. La relación entre los dos dispositivos, nos brinda el CIELAB. ($L^*64.56$, $a^* 0.23$, $b^* 49.63$). Un error inferior al 10% indica que el modelo explica aceptablemente los datos experimentales (Gutiérrez-Pulido & de la Vara Salazar, 2004).

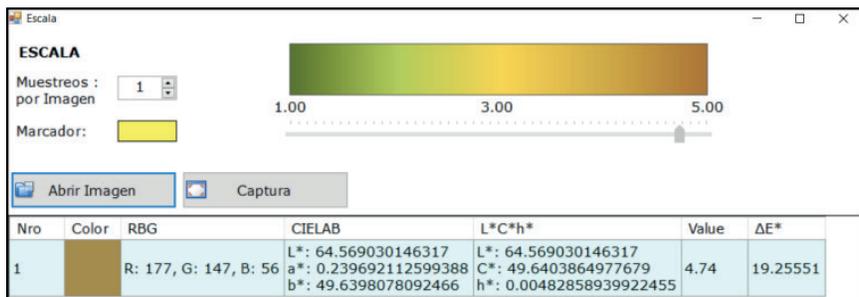


Figura 02. Los parámetros de color del plátano no estuvieron en los rangos CREADO POR TARVOS

Parámetros de medición del color en el plátano

El color es una propiedad importante relacionada con la composición química y el grado de alteración de los alimentos a lo largo del tiempo. Los diferentes valores de Luminosidad (L^* indican que el reflejo de la luz en el plátano fue heterogéneo. Esto puede haber ocurrido como resultado de la maduración, ya que presentaba pigmentos de color oscuro.

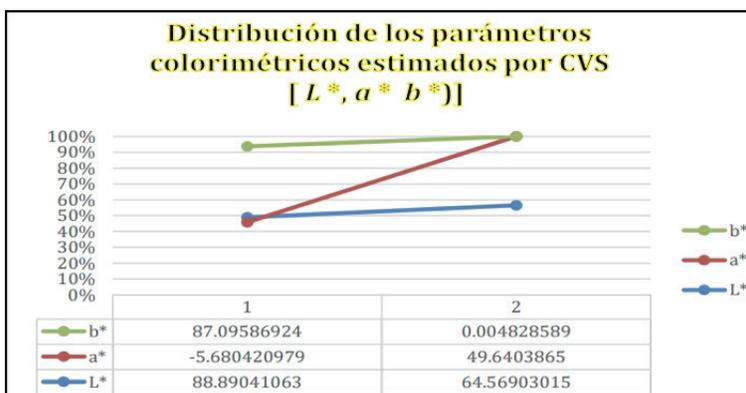


Figura 03. Distribución de los parámetros colorimétricos estimados por CVS [L^* , a^* , b^*] del plátano fresco (1) y la muestra (2)

L^* disminuye a medida que las muestras son más oscuras. muestra que las muestras están disminuyendo en valor L^* frente al tiempo, lo que significa que las muestras se oscurecieron.

CONCLUSIONES

El estudio presenta un nuevo algoritmo de visión por computadora aplicado al análisis del color del plátano durante su proceso de maduración. Este algoritmo proporciona información objetiva y sensorial sobre el color, lo cual podría reemplazar los sistemas tradicionales basados en mediciones subjetivas, como la evaluación del panel sensorial, que pueden verse influenciados por factores como la fatiga, el estrés y la visión de los evaluadores.

El algoritmo implementado en el sistema de visión por computadora permitió estimar los parámetros de color CIE Lab ($L^*64.56$, $a^* 0.23$, $b^* 49.63$) del plátano, mostrando una tendencia hacia un color café claro ($C^* 49.64$) con una combinación de rojo-amarillo y una variación en el cuadrante amarillo-verde. También se obtuvieron los valores RGB (R:177, B:56, G:147) y el valor ΔE (19.25), que indican una tendencia hacia colores que van desde el amarillo oscuro hasta el café. Estos resultados demuestran que el sistema diseñado ayuda a explicar los cambios de color del plátano mínimamente procesado y podría utilizarse en tiempo real para medir la calidad del color en los alimentos, seleccionando aquellos que cumplen con los estándares mínimos requeridos.

En futuras investigaciones, se propone integrar el sistema de visión por computadora con una red neuronal artificial que utilice parámetros colorimétricos y morfométricos del plátano y otros alimentos. Este sistema integrado podría clasificar los alimentos procesados o frescos según su calidad sensorial y estimar la vida útil sensorial de los alimentos mínimamente procesados.

REFERENCIAS

Atencio Ortiz, P. S. (2009). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL MANGO DE AZÚCAR DE EXPORTACIÓN*. UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS.

Blasco, J., Aleixos, N. y Moltó, E. (2007). Detección por visión artificial de defectos de cáscara en cítricos mediante un algoritmo de segmentación orientado a regiones. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 81(3), 535e543. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.12.007>.

Euroinnova Business School. (2022, December 16). *Nuevos estándares de calidad en alimentación*. Euroinnova Business School. <https://www.euroinnova.pe/blog/nuevos-estandares-de-calidad-en-alimentacion>

León, K., Mery, D., Pedreschi, F. y León, J. (2006). Medición de color en unidades $L^*a^*b^*$ a partir de imágenes digitales RGB. *Food Research International*, 39(10), 1084e1091. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>.

Pedreschi, F., León, J., Mery, D., & Moyano, P. (2006). Desarrollo de un sistema de visión artificial para medir el color de patatas fritas. *Food Research International*, 39(10), 1092e1098. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.009>.

Ramírez Ramírez, D. Y. (2015). *Herramientas y técnicas de mejora de la calidad en la industria de alimentos latinoamericana y su aporte a la competitividad organizacional*. 26.

Vela Panduro, Claudio Ramón Vidal Marca, Javier. (2007). *Estación Experimental Agraria Illpa - Puno PROYECTO SAN GABÁN*. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/765/1/Vela-Manejo_integrado_cultivo_pl%C3%A1tano.pdf