

ESTIMACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL ÁREA DE REGIONES INTERÉS EN FRUTOS DE MANGO MEDIANTE IMÁGENES DIGITALES

Gerardo Loera Alvarado

Innovación en Manejo de Recursos
Naturales, Colegio de Postgraduados Campus
San Luis Potosí, Iturbide No. 73, Salinas de
Hidalgo, San Luis Potosí, México
<https://orcid.org/0000-0002-5339-3819>

Sergio Humberto Chávez Franco

Colegio de Postgraduados Campus
Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de
México, México
<https://orcid.org/0000-0002-7625-9698>

José Alfredo Carillo Salazar

Colegio de Postgraduados Campus
Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de
México, México
<https://orcid.org/0000-0001-8026-5225>

Juan Manuel González Camacho

Colegio de Postgraduados Campus
Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de
México México
<https://orcid.org/0000-0001-5479-7316>

Javier Suárez Espinosa

Colegio de Postgraduados Campus
Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de
México, México.
<https://orcid.org/0000-0001-8711-7436>

Salvador Valle Guadarrama

Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo,
Estado de México, México.
<https://orcid.org/0000-0003-1743-2080>

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: En México, el mango ‘Ataulfo’ (*Mangifera indica* L.) es una de los principales cultivares producidos debido a sus propiedades antioxidantes y organolépticas. La combinación de colores sobre la superficie del fruto influye sobre su aceptabilidad y está determinada por la interacción entre el patrón natural de maduración y las lesiones ocasionadas enfermedades u otros factores. En esta investigación se desarrolló un método basado en ponderación de longitudes de arco para estimar el área individual y el porcentaje de cobertura de regiones de interés; y se comparó con el conteo simple de píxeles en imágenes digitales. El método propuesto presentó una exactitud del 89.6 % en la estimación del área individual y un error del 28.53 % en el porcentaje de cobertura, mientras que el conteo simple de píxeles no superó un 70.0 % de exactitud para el área individual y presentó un error promedio del 78.9 % para el porcentaje de cobertura.

Palabras clave: Color, daños, imágenes digitales, calidad de fruto, *Mangifera indica* L.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los cultivos tropicales de mayor aceptabilidad a nivel mundial debido a sus cualidades organolépticas y nutricionales (Yahia *et al.*, 2006). México es uno de los principales productores y el primer exportador de esta especie, el mango ‘Ataulfo’ es una de los principales cultivares producidos debido a sus propiedades antioxidantes, consistencia, sabor y color (Palafox-Carlos *et al.*, 2012; Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2013).

La combinación de colores en la superficie de los frutos de mango es resultado de la interacción entre el patrón normal de maduración y las alteraciones provocadas por factores como daños mecánicos, lesiones por antracnosis y manchas de látex, entre otros (Nagle *et al.*, 2012). Esta variable tiene gran

relevancia en evaluación estado de madurez, valor nutrimental y vida postcosecha de los frutos (Jha *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008). Además, influye directamente sobre la apariencia, lo que define la aceptabilidad del producto por el consumidor (Manresa y Vicente, 2007).

En los últimos años se han desarrollado sistemas de visión computacional para medir propiedades físicas como el diámetro, longitud, esfericidad, volumen, peso, color y porcentaje de defectos, ya sean daños ocasionados por enfermedades o manchas de senescencia (Mendoza y Aguilera, 2004; Ramierz *et al.*, 2022; Dameshwari y Ravindra 2017). Así mismo, se han desarrollado sistemas para caracterizar estados de madurez (Avila *et al.*, 2015) y/o utilizar este factor para clasificar frutos de mango con una exactitud entre 90 % y 94 % (Nagle *et al.*, 2012, Vélez-Rivera *et al.*, 2013, Yossy *et al.*, 2017). Sin embargo, el algoritmo de estos sistemas se ha centrado en el análisis de la superficie proyectada o representación plana del producto sin proporcionar una medida del área de una región de interés sobre la superficie del fruto.

Corkidi *et al.* (2006) han considerado el aspecto tridimensional de los frutos de mango y propusieron una metodología para cuantificar y monitorear el desarrollo de lesiones por antracnosis, a partir de un gran número de imágenes y una proyección pseudocilíndrica. Por otro lado, Loera-Alvarado *et al.*, (2021) aplicaron el método de particiones para estimar el área externa de un fruto de mango a partir de dos imágenes ortogonales mediante la integración de longitudes de arco en conos elípticos truncados, con un error aceptable.

En este sentido, la modificación de los límites de la integración de longitudes de arco permitiría calcular el área individual y el porcentaje de cobertura de regiones de interés (**ROI**: Regions Of Interest) sobre la

superficie de frutos de mango 'Ataulfo', a partir de dos imágenes digitales ortogonales. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo implementar el método de ponderación de longitudes de arco para estimar el área individual y el porcentaje de cobertura de regiones de interés sobre la superficie de frutos de mango 'Ataulfo'.

MATERIALES Y MÉTODOS

OBJETOS ESTUDIADOS

Para realizar la presente investigación se utilizó una esfera de poliestireno expandido (unicel®) de 9.0 cm de diámetro y 40 frutos de mango (*Mangifera indica* L. cv 'Ataulfo') en madurez de consumo. Los frutos fueron adquiridos en el mercado local de Texcoco, Estado de México, posteriormente fueron transportados al laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio de Postgraduados.

CONDICIONES DE CAPTURA DE LAS IMÁGENES

La captura de las imágenes de los frutos de mango y la esfera se realizó mediante el sistema desarrollado por Loera-Alvarado *et al.*, (2021), bajo las mismas condiciones de iluminación, distancia y color de fondo (Figura 1). Las imágenes se tomaron con un Smartphone CellAllure Book2 modelo CAPHG28-01 con sistema operativo Android® 4.4.2, con ajuste automático, en formato JPEG de 24 bits y resolución de 1280 x 960 píxeles. Cada fruto se capturó en la cara más ancho (0°) y con un giro de 90°, en el caso de la esfera, sólo se tomó una imagen para cada cálculo. Se capturaron 65 imágenes de la esfera y 80 de los frutos mango.

PREPROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Las imágenes tomadas a 0° fueron preprocesadas con un filtro de mediana de 5x5 (Gonzalez y Woods, 2007), posteriormente se

generaron dos imágenes en escala de grises. Una a partir de la intensidad de color del espacio HSI (Tono, Saturación e Intensidad) para segmentar el fruto completo y otra a partir del canal azul (color de las etiquetas) para segmentar las regiones de interés (Figura 2).

PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Las imágenes en escala de grises fueron binarizadas mediante el establecimiento de un umbral simple, donde el fondo fue representado con el valor de 0 (negro) y el objeto de interés con el valor de 1 (blanco). Las imágenes binarias se sometieron a un proceso de erosión con un elemento estructural de 3x3, posteriormente se restó la imagen erodada a la imagen binaria para obtener imágenes con el contorno del fruto y con el contorno de las regiones de interés, respectivamente (Figura 3). El algoritmo fue desarrollado en Visual Studio Community Edition 2019® de la compañía Microsoft®, bajo el lenguaje Visual Basic.

MÉTODOS DE CÁLCULO DEL ÁREA DE LA REGIÓN DE INTERÉS (ROI)

Se comparó el método de ponderación de longitudes de arco (PLA) y el método de conteo simple de píxeles (CSP), para calcular el área individual de regiones de interés y el porcentaje de cobertura de múltiples regiones de interés.

MÉTODO DE PONDERACIÓN DE LONGITUDES DE ARCO (PLA)

El fruto se consideró como un conjunto de conos elípticos truncados y sobrepuestos verticalmente, cada cono estuvo comprendido entre dos filas de píxeles adyacentes (i e $i+1$), la ROI cubrió n conos verticalmente, por lo tanto el área de la ROI (A) se estimó como la sumatoria del área de la ROI en cada cono (A_i), el área de la ROI en cada cono se estimó

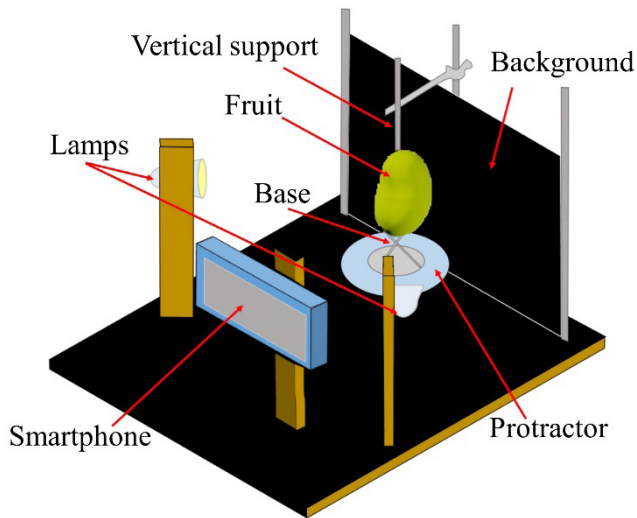


Figura 1. Sistema de digitalización de frutos de mango para calcular el área de regiones de interés sobre la superficie del fruto. Fuente: Loera-Alvarado et al., 2021.

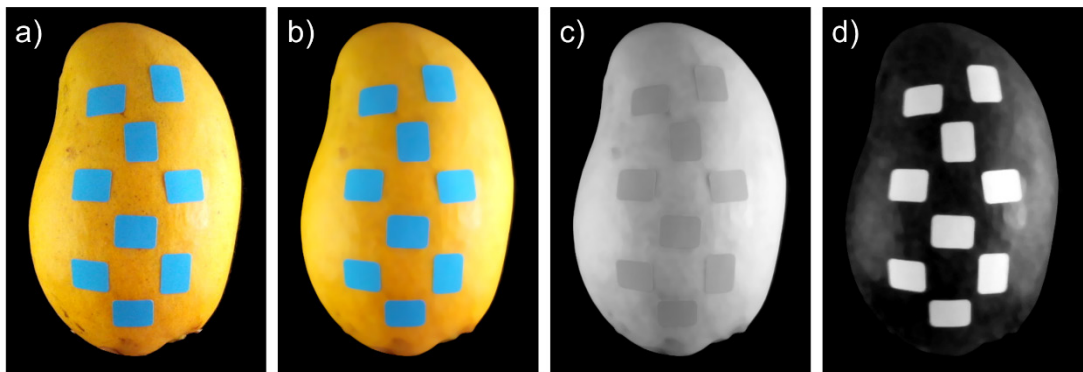


Figura 2. a) Imagen original en RGB, b) Imagen filtrada, c) Imagen en escala de grises a partir de intensidad de color (HSI) y, d) Imagen en escala de grises a partir del valor del canal azul.

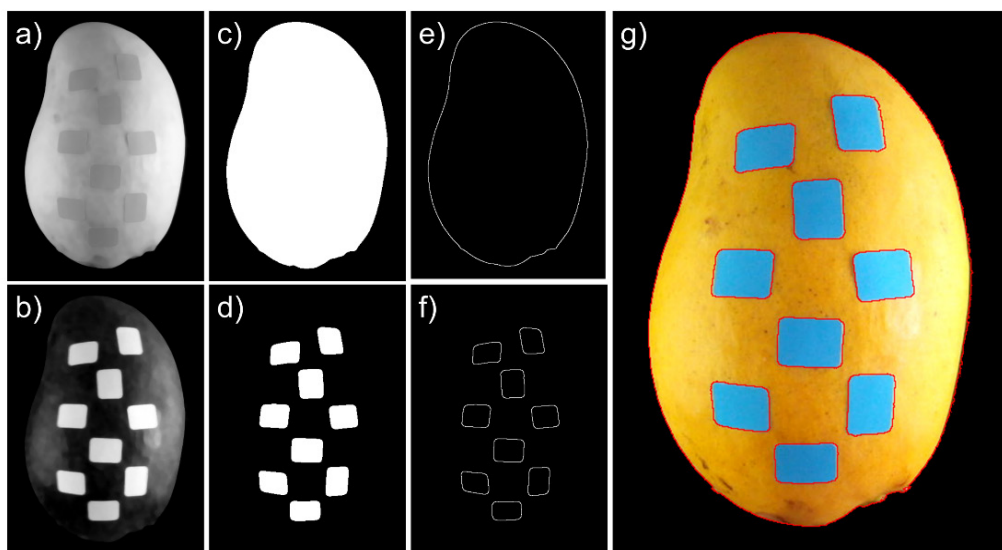


Figura 3. a) y b) Imágenes en escala de grises, c) y d) imágenes binarias, e) contorno del fruto, f) contorno de las regiones de interés, y g) representación del proceso completo en la imagen RGB.

como la longitud del arco promedio en cada fila de píxeles multiplicado por la generatriz del cono (G_i).

De acuerdo con Baldor *et al.*, (1997) una elipse con centro en el origen se caracteriza por el semieje mayor (r), semieje menor (s). Ecuación (1).

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{s^2} = 1 \quad (1)$$

Los valores de los semiejes (r y s) se obtuvieron de acuerdo con el número de píxeles correspondientes al fruto en cada fila de píxeles; r de la imagen tomada a 0° y s de la imagen con un giro de 90° (la imagen tomada a 90° sólo se utilizó para obtener los valores de s) (Figura 4).

En la imagen tomada a 0° se ubicó el inicio (x_0) y fin de la ROI (x_1) en cada fila de píxeles correspondientes a la ROI (Figura 3). Se calculó la ubicación en el eje "y" del inicio (y_0) y fin de la ROI (y_1). Ecuación (2).

$$y = (s^2 - \frac{x^2 s^2}{r^2})^{1/2} \quad (2)$$

donde r y s son los semiejes de la elipse (mayor y menor); x es la ubicación del inicio y/o final de la ROI en el eje x .

Posteriormente, se calculó el ángulo respecto al eje "x" del inicio (θ_0) y final (θ_1) de la ROI y la longitud del arco entre dichos ángulos de acuerdo con la ecuación (3) y (4), respectivamente.

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (3)$$

$$L = \int_{\theta_0}^{\theta_1} \sqrt{(r * \text{sen}(\theta))^2 + (s * \text{cos}(\theta))^2} \partial\theta \quad (4)$$

donde r y s son los semiejes de la elipse; x es la ubicación en el eje x ; y es la ubicación en el eje y ; θ es el ángulo respecto al eje x de acuerdo con la ubicación (x, y); L es la longitud del arco entre el inicio y fin de la ROI.

Finalmente, el área cubierta por la ROI en la fila de píxeles i y la fila $i+i$ fue calculada como la longitud promedio del arco entre ambas filas de píxeles multiplicado por la generatriz con la ecuación (5) y (6). El área total de la ROI se calculó como la sumatoria

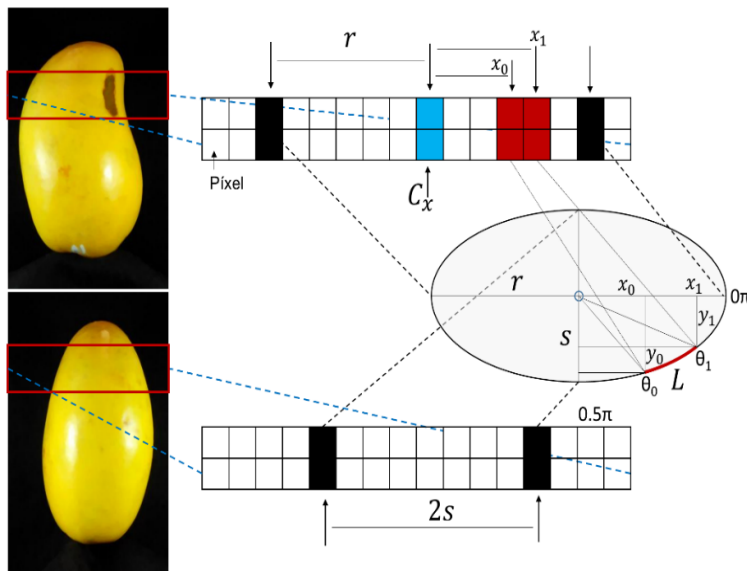


Figura 4. Obtención de información de las imágenes digitales para calcular el área de una región de interés en frutos de mango.

del área correspondiente a todas las filas de píxeles con la ecuación (7).

$$G = \left(h^2 + \left(\frac{r_i + s_i}{2} - \frac{r_{i+1} + s_{i+1}}{2} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$A_i = G_i \left(\frac{L_i + L_{i+1}}{2} \right) \quad (6)$$

$$A = \sum_{i=0}^n A_i \quad (7)$$

donde r y s son los semiejes de la elipse en la fila de píxeles i ; h es la separación entre las filas de píxeles (1 píxel); G es la generatriz del cono elíptico en la fila i e $i+1$; A_i área parcial de la **ROI**; A es el área total de **ROI** y; n es el total de conos cubiertos por la **ROI**.

MÉTODO DE CONTEO SIMPLE DE PÍXELES (CSP)

Las imágenes binarias del fruto (Figura 3-c) y de las regiones de interés (Figura 3-d) fueron censadas para cuantificar el número de píxeles de color blanco correspondientes tanto al fruto como a las regiones de interés.

ÁREA DE REFERENCIA DEL FRUTO MANGO

El área de referencia de los frutos fue determinada mediante la extracción y digitalización del exocarpio. Para ello, la cáscara de los frutos fue removida manualmente, escaneada con un escáner (*Hp scanjet 3770*) y analizada con ayuda de del software *Image Tool 3.0* (*University of Texas Health Science Center at San Antonio*) (Loera-Alvarado *et al.*, 2021).

VARIABLES EVALUADAS

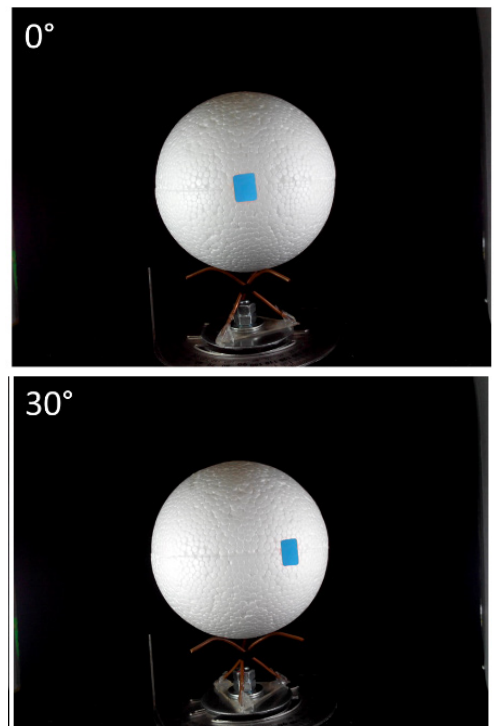
Se calculó el área individual de cada región de interés sobre la esfera y en los frutos de mango mediante el método de ponderación de longitudes de arco (**PLA**) y por conteo simple de píxeles (**CSP**).

Se calculó el porcentaje de cobertura de las regiones de interés sobre la superficie de

los frutos de mango por ambos métodos. El porcentaje de cobertura por el método **CSP** se determinó como el número total de píxeles de las regiones de interés dividido entre el número total de píxeles correspondientes al fruto. Mientras que el porcentaje de cobertura por el método **PLA** se estimó como el área de las regiones de interés entre la mitad del área total del fruto estimada por el método de particiones (Loera-Alvarado *et al.*, 2021).

PRECISIÓN Y EXACTITUD DE LOS MÉTODOS PLA Y CSP

Para determinar la precisión y exactitud de ambos métodos en el cálculo del área de una región de interés individual, se colocó la etiqueta rectangular en el centro de la esfera y se realizaron giros manuales cada cinco grados, se tomaron cinco imágenes en cada ubicación de la etiqueta, posteriormente, se realizó el cálculo del área de la etiqueta en cada imagen, por los métodos **PLA** y **CSP**, finalmente se comparó el área calculada en cada ubicación con el área en la ubicación de 0° (Figura 5).



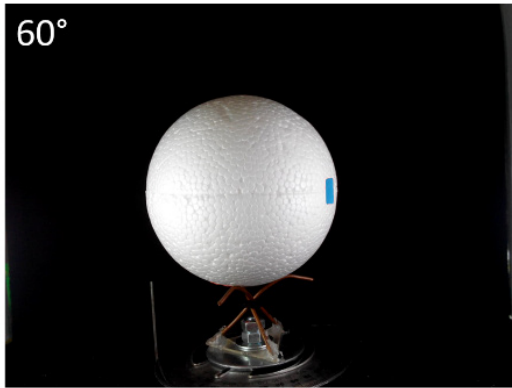


Figura 5. Cambio de la percepción del área de una región de interés de acuerdo con su ubicación: Etiqueta en la zona ecuatorial; en el centro de la esfera (0°) y con giros de 30° y 60°.

PORCENTAJE DE COBERTURA DE ROI EN FRUTOS DE MANGO

Para estimar el porcentaje de cobertura, se colocaron etiquetas de color azul (para facilitar la segmentación) en diferente cantidad y ubicación sobre 40 frutos de mango (Figura 6. Ejemplo para la estimación de porcentaje de cobertura de regiones de interés en un fruto de mango.). El porcentaje de cobertura de referencia fue calculado como la suma del área nominal de las etiquetas respecto a la mitad del área de referencia de cada fruto.

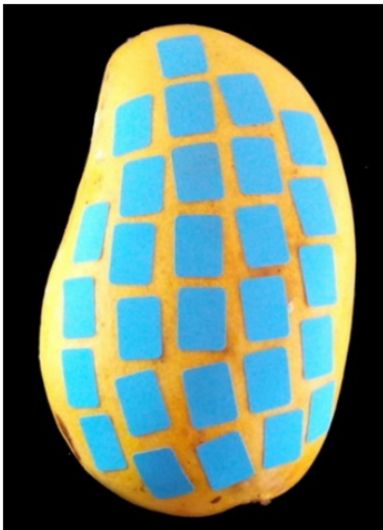


Figura 6. Ejemplo para la estimación de porcentaje de cobertura de regiones de interés en un fruto de mango.

ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron analizados en r-project® 4.1.1 bajo la interface RStudio® 2021.09.0, ambos de libre distribución. La precisión en el cálculo de área individual de las ROI fue determinada con base en el coeficiente de variación (CV) y la exactitud de acuerdo con el error relativo promedio con la ecuación (9).

$$exactitud(\%) = \left(1 - \left|\frac{x_0 - x_1}{x_0}\right|\right) * 100 \quad (8)$$

donde x_0 es el área de la ROI en la ubicación de 0° y; x_1 es el área cada 5°.

Para el porcentaje de cobertura, se realizó un análisis de regresión lineal simple sin intercepto de acuerdo con la ecuación (10) para cada método de estimación y se determinó la raíz del cuadrado medio del error (RCME), respecto a la cobertura de referencia.

$$Cob_r = \beta_1 * Cob_{est} + e \quad (9)$$

donde Cob_r es el porcentaje de cobertura de referencia de las regiones de interés (%); Cob_{est} es el porcentaje de cobertura estimada mediante los métodos evaluados (PLA y CSP); β_1 es la pendiente y; e es el error aleatorio NIID (0, σ^2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESTIMACIÓN DEL ÁREA INDIVIDUAL DE REGIONES DE INTERÉS EN UNA ESFERA

Ambos métodos presentaron una alta precisión, ya que el coeficiente de variación (CV) fue menor a 3.0 %. Sin embargo, el método PLA presentó una exactitud de 89.58 %, mientras que el método CSP apenas superó 70.0 %, en promedio (Cuadro 1).

Método	CV (%)	Exactitud (%)
PLA	2.03	89.58
CSP	1.45	70.55

Cuadro 1. Coeficiente de variación y exactitud de los métodos de cálculo del área de las etiquetas sobre una esfera.

Se encontró un incremento evidente del error en el cálculo del área de la ROI conforme se alejaba del centro de la esfera. En el caso del CSP, el error se dispara a partir de los 35°, con un máximo de 73.53 % cuando la ROI se ubicó en 60°. En contraste, mediante el método PLA, el error se mantiene por debajo del 25 % hasta los 50°, con un máximo de 36.39 % en 60° (Figura 6). Este aumento en el error del cálculo de acuerdo con la ubicación de la ROI se puede atribuir al efecto combinado de la curvatura de la esfera y a la distancia a la cámara, ya que la región más cercana está representada por un mayor número de píxeles. El método de ponderación de longitudes de arco (PLA) redujo el efecto de la curvatura en un 50 % aproximadamente, respecto al método de conteo simple de píxeles (CSP). Sin embargo, no corrigió el efecto de la distancia a la cámara. Este comportamiento ha sido reportado en la estimación de volumen de frutos de sandía (Bulent-Koc, 2007) y kiwi (Keshavarzpour y Achakzai, 2013).

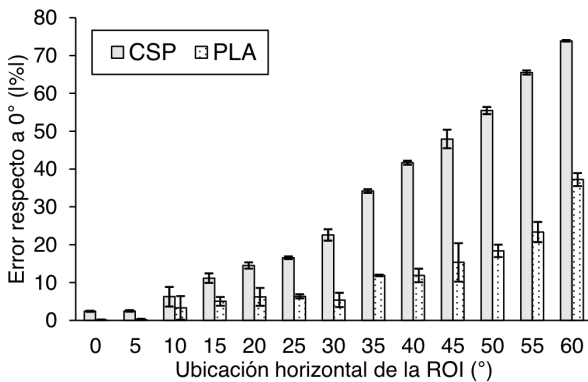


Figura 6. Error en el cálculo de regiones de interés de acuerdo con la ubicación horizontal mediante dos métodos de cálculo.

ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE DE COBERTURA DE REGIONES DE INTERÉS EN FRUTOS DE MANGO

Ambos métodos presentaron un alto coeficiente de determinación ($R^2 > 0.99$), esto coincide con el método propuesto por Corkidi *et al.*, (2006). Sin embargo, el método

de ponderación de longitudes de arco (PLA) presentó una menor a 5.0 % con una sobre estimación del 28.53 %, mientras que el método de conteo simple de píxeles (CSP) presentó una sobreestimación del 78.86 %. Esto demuestra la importancia de considerar el aspecto tridimensional de los frutos para la evaluación objetiva de cambios en la superficie de estos productos.

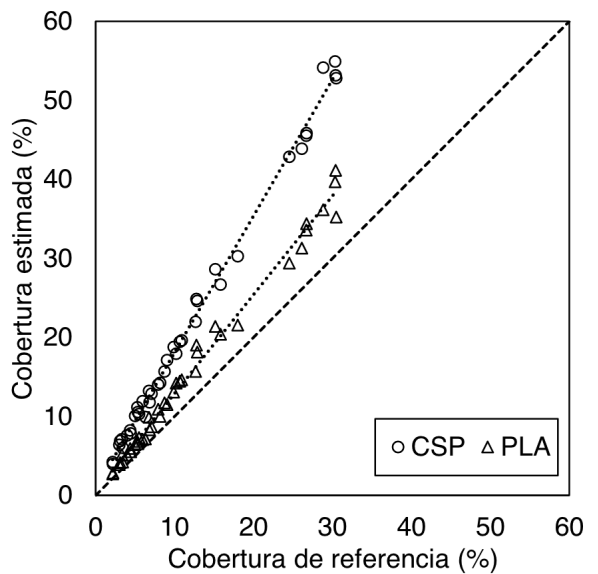


Figura 7. Porcentaje de cobertura de regiones de interés de referencia y calculada por los métodos: Ponderación de longitudes de arco (PLA) y por conteo simple de píxeles (CSP).

Método	β_1	R^2	$P(\beta)$	RCME	Cob (%)	Error (%)
CSP*	0.56	0.998	<0.001	11.50	21.18	78.86
PLA*	0.78	0.996	<0.001	4.19	15.14	28.53
Referencia	---	---	---	---	11.78	---

CSP*: Conteo total de píxeles, respecto a la proyección plana.

PLA*: Método de ponderación de longitudes de arco, respecto a la mitad del área del fruto.

Cuadro 2. Cálculo de porcentaje de cobertura de regiones de interés por diferentes métodos: Pendiente (β_1), raíz del cuadrado medio del error (RCME), promedio del porcentaje de cobertura (Cob) y error en la estimación.

CONCLUSIONES

El método de ponderación de longitudes de arco a partir de imágenes digitales ortogonales permite calcular el área y/o el porcentaje de cobertura de una o más regiones de interés sobre la superficie de frutos de mango con exactitud aceptable cercana al 90 %, mientras que el método típico de conteo simple de píxeles puede generar un error superior al 70 % en ambas estimaciones.

REFERENCIAS

- Avila F., M. Mora, M. Oyarce, A. Zuñiga and C. Fredes. (2015). **A method to construct fruit maturity color scales based on support machines for regression. Application to olives and grapes seeds.** Journal of Food Engineering. 162(2015): 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.035>
- Baldor J. A., M. Santoló S. y P. E. Suardiaz C. (1997). **Geometría Plana y del Espacio y Trigonometría.** Publicaciones Cultural S.A. de C.V. México. 670 p.
- Bulent-Koc, A. (2007). **Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing.** Postharvest Biol. Technol. 45(3):366-371. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.010>
- Corkidi, B., K. A. Balderas-Ruiz, B. Taboada, L. Serrano-Calderón and E. Galindo. (2006). **Assessing mango anthracnose using a new-tridimensional image analysis technique to quantify lesions on fruit.** Plant Pathology. 55(6):250-257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01321.x>
- Dameshwari, S. and M. P. Ravindra. (2017). **Defect Identification and Maturity Detection of Mango Fruits Using Image Analysis.** American Journal of Artificial Intelligence. 1(1): 5-14. <https://doi.org/10.11648/j.ajai.20170101.12>
- Gonzalez, R. C. and E. Woods. (2007). **Digital Image Processing.** 3er Ed. Prentice Hall. USA. 954 p.
- Jha, S. N., S. Chopra and A. R. P. Kingsly. (2007). **Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango.** Journal of Food Engineering 78(1): 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.048>
- Keshavarzpour, F., and A. K. K. Achakzai. (2013). **Kiwifruit volume determination using image processing method.** World Engineering & Applied Sciences Journal 4 (2): 11-16. [http://www.idosi.org/weasj/4\(2\)13/1.pdf](http://www.idosi.org/weasj/4(2)13/1.pdf)
- Lee, D. J., J. K. Archibald, Y. C. Chang and C. R. Greco. (2008). **Robust color space conversion and color distribution analysis techniques for date maturity evaluation.** Journal of Food Engineering 88(3): 364-372. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.023>
- Loera-Alvarado, G., S. H. Chávez-Franco, J. A. Carrillo-Salazar, J. M. González-Camacho, and S. Valle-Guadarrama. (2021). **Digital Images Analysis on a Mobile Device to Estimate Surface Area and Volume of Mango Fruit (*Mangifera indica* L.).** Agroproductividad, 14(05):23-28. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i05.1770>
- Manresa, G.A y Vicente, I. (2007). **El color en la industria de los alimentos.** Ciudad de la Habana: Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-0582-5.
- Mendoza, F. y J.M. Aguilera. (2004). **Application of Image Analysis for Classification of Ripening Bananas.** Journal Of Food Science. 69 (9): 471-477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09932.x>
- Nagle, M., Intani, K., Mahayothee, B., Sardud, V., & Müller, J. (2012). **Non-destructive mango quality assessment using image processing: inexpensive innovation for the fruit handling industry.** Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Tropentag 2012.

Palafox-Carlos, H., E. M. Yahia and G. A. González-Aguilar. (2012). **Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening.** Food Chemistry 135 (2012): 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.103>

Ramírez, A.L., A.C.E. Cabrera and F. A. Prieto. (2022). **A computer vision system for early detection of anthracnose in sugar mango (*Mangifera indica*) based on UV-A illumination.** Information processing in Agriculture. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.001>

Sáyago-Ayerdi, S. G., C. L. Moreno-Hernández, E. Montalvo-González, M. L. García-Magaña, M. Mata-Montes de Oca, J. L. Torres and J. Pérez-Jiménez. (2013). **Mexican 'Ataulfo' mango (*Mangifera indica* L) as a source of hydrolyzable tannins.** Analysis by MALDI-TOF/TOF MS. Food Research International 51 (2013): 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.034>

Vélez-Rivera, N., J. Blasco, J. Chanona-Pérez, G. Calderón-Dominguez, M. Perea-Flores, I. Arzate-Vázquez, S. Cubero and R. Ferrera-Rebollo. (2013). **Computer Vision System Applied to Classification of "Manila" Mangoes During Ripening Process.** Food and Bioprocess Technology, 7,1183-1194.

Yahia, E.M., Ornelas-Paz, J.J. and Gardea, A. (2006). **Extraction, Separation And Partial Identification Of 'Ataulfo' Mango Fruit Carotenoids.** Acta Hort. 712, 333-338. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.712.37>

Yossy, E. H., J. Pranata, T. Wijaya, H. Hermawan and W. Budiharto. (2017). **Mango Fruit System using Neural Network and Computer Vision.** Procedia Computer Science.116:596-603. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.10.013>