

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PARAMETRIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LIMA PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka) PARA EL CONTROL DE CALIDAD

DEVELOPMENT OF A MORPHOMETRIC PARAMETRIZATION SYSTEM FOR PERSIAN LIME (*Citrus latifolia* Tanaka) FOR QUALITY CONTROL

**Posada-Gómez, R.; Martínez-Sibaja, A.†; Sandoval-González, O.O.; Aguilar-Laserre, A.A.;
Trujillo-Caballero, J.C.; Águila-Rodríguez, G.; Cortés-Robles, G.; Herrera-Aguilar, I.**

Departamento de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No
852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz, México.

***Autor responsable:** albino@itorizaba.edu.mx

RESUMEN

Un requerimiento fundamental en la producción del lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka), es el control de la calidad del fruto, el cual requiere de una parametrización en la que se puedan obtener de manera objetiva las características morfométricas. Se diseñó un sistema de fácil operación, gran movilidad, económico y versátil, basado en las técnicas de procesamiento digital de imágenes, capaz de obtener las características de la forma del fruto comercial de lima persa en una escena determinada. Se exploró la superficie del limón desde 360° para efectuar una medición del tamaño del fruto en píxeles y la uniformidad de la forma. El sistema fue capaz de utilizar la desviación estándar como indicador para conocer la uniformidad del color del fruto en toda su superficie y detectar mediante la variación de la misma, manchas de color o marcas indeseables, así mismo conocer la uniformidad o tendencia en cuanto a forma considerando variaciones en la desviación del diámetro medido.

Palabras Claves: Cítricos, morfometría, control de calidad.

ABSTRACT

A fundamental requirement in the production of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) is the control of fruit quality, which requires a parametrization based on which morphometric characteristics can be obtained objectively. A system was designed based on the techniques of digital image processing, of easy operation, great mobility, economic and versatile, and capable of obtaining the characteristics of the shape of the commercial Persian lime fruit in a specific scenario. The surface of the lime was explored from 360° to perform a measure of the size of the fruit in pixels and the uniformity of the shape. The system was capable of using the standard deviation as indicator to explore the uniformity of the fruit's color on its entire surface and detect color spots or undesirable marks through its variation, as well as to understand the uniformity or tendency in terms of shape considering variations in the deviation of the diameter measured.

Keywords: Citrus fruits, morphometry,
quality control.



INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los principales productores de limones y limas (*Citrus* spp.) aportando 21% de la producción mundial. La lima Persa, conocida en México como limón sin semilla (*Citrus latifolia* Tanaka) (COVECA, 2011) se comercializa el fruto en base a distintas normas nacionales e internacionales. Se clasifica de acuerdo a las necesidades y características específicas de calidad del mercado al que es dirigido. De manera compartida, en todas las normas se requiere que el producto contenga cerca de 42% de jugo en su volumen, y un diámetro que oscila de 50 mm a 63 mm como máximo, además de ser mayormente uniforme en el color de la epidermis (70% a 90%) lo cual depende del mercado de destino como lo indica el Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad selecta en limón persa PC-012-2004 (SAGARPA, 2014).

Poder clasificar el producto por características tales como, forma, tamaño, color, defectos visibles como laceraciones, raspaduras o cicatrices, permite separar en distintos grupos la producción de campo. Con una correcta clasificación se evita el desecho de producto de menor calidad, y se favorece su orientación a mercados con diferentes parámetros de calidad, además de posibilitar el almacenaje del volumende frutos que aún no se encuentran dentro de las especificaciones, aprovechando de esta manera al máximo los rendimientos de campo (Arias-Salazar, 2012).

El método de clasificación más utilizado es manual, a través de personal capacitado (operadores) quienes inspeccionan los frutos procedentes del campo, auxiliados de una banda transportadora o rodillos de goma, la cual puede dificultar la visibilidad completa, ya que normalmente el operador tiene que tomar y levantar el fruto con la mano para lograr una mejor inspección (Guo y Qixin, 2004); además de que la capacidad de inspección del operador se reduce a un solo producto a la vez, genera un alto grado de error y ocasiona daños en el producto debido a la manipulación por parte del operador. Otras opciones de clasificación consisten en arreglos mecánicos que realizan una discriminación mediante cernidores para determinar el tamaño del producto (Ruiz-Altisent, 2004), o empleando cámaras en la línea de inspección (Blasco *et al.*, 2007). Sin embargo las tecnologías de clasificación automática requieren de grandes inversiones para la adquisición de

equipos especializados de gran tamaño y condiciones especiales para su operación y mantenimiento (Lino *et al.*, 2008). Con el fin de brindar una alternativa de bajo costo que permita obtener una medición objetiva aplicable al control de la calidad en el fruto de lima persa, que permita obtener la certificación de la marca calidad "suprema" y favorecer la presencia del producto en el mercado internacional, se desarrolló un sistema basado en el procesamiento de imágenes, por ser un procedimiento no invasivo de bajo costo (Lee, 2000), considerando el examen de toda la superficie del fruto mediante un análisis de los 360° de superficie del fruto de la lima persa, en un medio con condiciones repetibles de iluminación, puesto que se ha demostrado que es un factor que afecta directamente los resultados (Amarasinghe y Sonnadara, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron frutos comerciales de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka) procedentes de huertas comerciales de Cuitláhuac, Veracruz, México. Es importante resaltar que para que el sistema extrajera las características de forma y tamaño de los frutos de manera que pueda efectuarse un correcto control de calidad, se posicionó en el sistema, un fruto de lima persa para hacer la adquisición de toda la superficie; para ello, se contó con una etapa que mantiene al fruto en una posición fija, para así efectuar una toma del mismo con una webcam; posteriormente se hizo rotar al fruto para efectuar una toma desde otro ángulo de adquisición, de tal forma que se alcanzara la exploración de los 360° del fruto. El procesamiento de la información se efectuó mediante algoritmos necesarios para la extracción de características morfométricas y controlar al sistema de posicionamiento del fruto en una posición fija. La Figura. 1 muestra el diagrama a bloques sistema utilizado. El sistema consta de una cámara de aislamiento para tener una iluminación uniforme y reducir las sombras producidos por la geometría del fruto. Dentro de la misma se encuentra el sistema de posicionamiento y la cámara para la adquisición de las imágenes. Externa a esta cámara se ubicó un equipo de cómputo para recibir las imágenes y controlar el sistema de posicionamiento.

La cámara de aislamiento óptico constó de tres fuentes de luz; dos lámparas laterales de luz blanca provistas de balastra y arrancadores para el correcto funcionamiento de las mismas. La fuente de luz principal que proporcionó

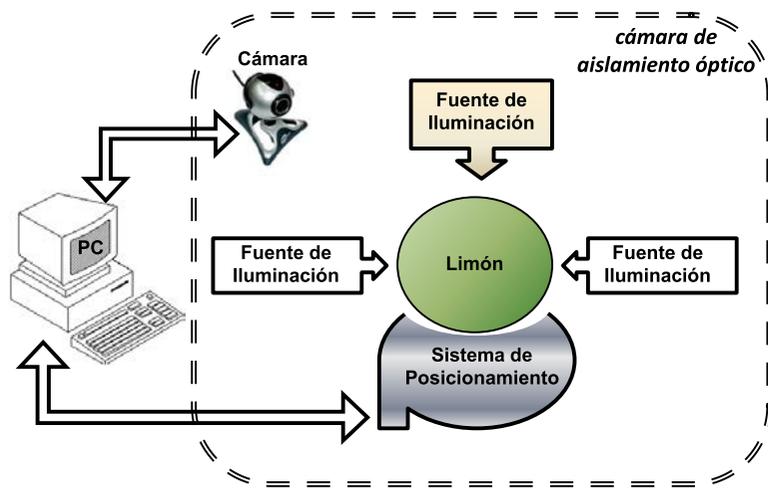


Figura 1 Diagrama a bloques del sistema

la iluminación frontal fue una lámpara halógena de luz blanca de 20 Watts. Es importante que la iluminación producida por la fuente de luz no incidiera de manera directa sobre el elemento sensor de la cámara para evitar la "saturación" sobre el dispositivo y se convirtiera en un obstáculo para la correcta captura de las imágenes. El interior de la cámara fue de color azul mate para impedir los reflejos de luz y permitir mejor segmentación. Para realizar la adquisición de los 360° del fruto, se empleó un sistema de posicionamiento (Figura 2) que constó de un elemento de fijación, un motor para girarlo, el circuito para el control del motor realizado directamente por el equipo de cómputo a través de su puerto paralelo y usando el driver del motor como interfaz de potencia y protección al puerto paralelo, mientras que el sistema de parametrización morfométrica (Figura 3) aseguró la repetitividad de las condiciones para la adquisición de las imágenes.

Para realizar una reconstrucción 3D del fruto a partir de las imágenes adquiridas, se consideró que la ima-

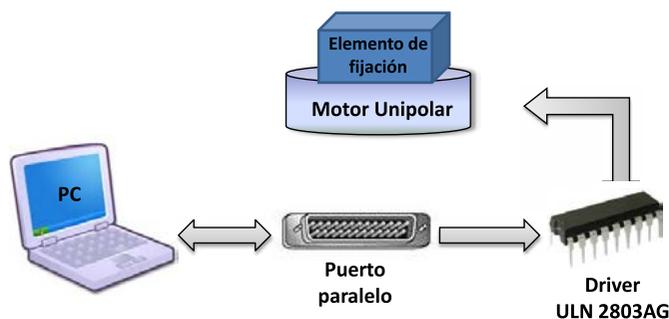


Figura 2 Sistema de posicionamiento y elementos que realizan el giro y posicionamiento del fruto de *Citrus latifolia* Tanaka.

gen haya sido tomada desde un plano. Así, sea lo la imagen original, sea T_r la transformación de rotación aplicada a lo, se genera una imagen capturada por la cámara I_c , y esto se expresó como (Ecuación 1):

$$I_c = T_r [I_o(x,y)]$$

Dado que I_o está definida en un plano, es posible aplicarle un filtro de Sobel para obtener los contornos de la imagen de interés. La figura 4 A, muestra el resultado de aplicar el filtro de sobel sobre la imagen segmentada, haciendo un barrido sobre la imagen filtrada, de manera tal, que se puedan almacenar las coordenadas de la nube de puntos sobre el contorno (aquellas coordenadas donde el valor de intensidad es 1) se obtiene una nube de puntos con coordenadas en el plano x, y; lo que indica que en este plano la coordenada z=0. Como se muestra en la Figura 4 B.

Conociendo la rotación existente al momento de efectuar la captura (T_r) se puede efectuar una rotación complementaria T_r' en un ángulo θ_y definido por la Ecuación 2.



Figura 3 Sistema de parametrización morfométrica del fruto de lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka), para obtener una adquisición de imágenes desde 360°.

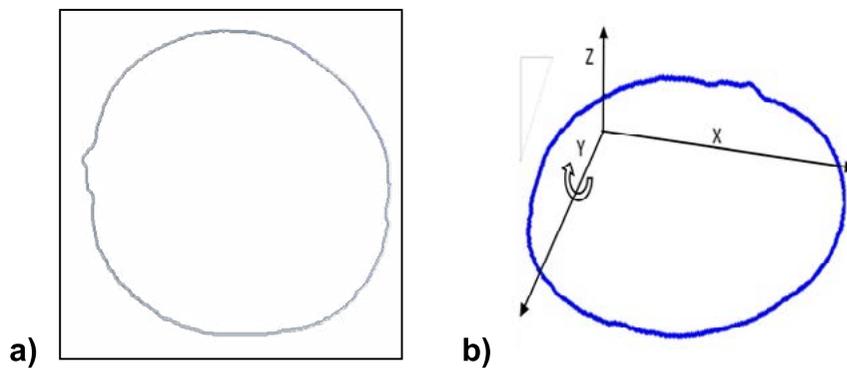


Figura 4. A: Contorno del fruto al aplicar el algoritmo de Sobel a las imágenes, B: Nube de puntos en la que se representa como una figura en el plano xy con un valor de 0 en el plano z.

$$T'_r = (I_c) \begin{pmatrix} \cos\theta_y & 0 & \sin\theta_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La Figura 5 A, muestra la nube de puntos de una vista del fruto, y como resultado de aplicar una transformación de 15° sobre la nube de puntos original se muestra en la figura 5 B. Finalmente la figura 5 C, muestra una reconstrucción de ocho diferentes ángulos de rotación a 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , y 315° .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se efectuaron dos tipos de pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema: La primera consistió

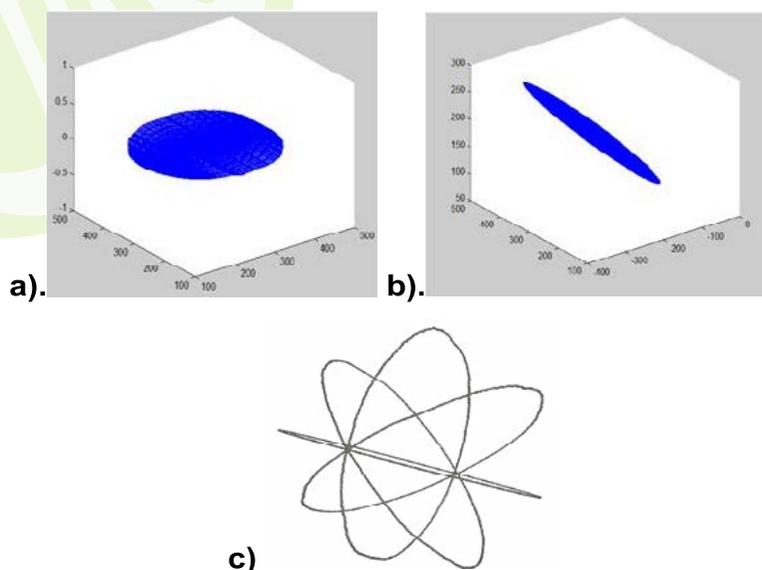


Figura 5. A: Nube de puntos de la imagen original. B: Nube de puntos obtenida después de transformar la imagen con la matriz de rotación. C: Reconstrucción tridimensional del fruto.

en determinar el tamaño aparente de los limones, es decir el tamaño en píxeles, que tiene relación con el calibre del limón y la segunda respecto a la uniformidad en el diámetro, que pone de manifiesto la existencia de un limón redondo, o en su defecto deformado de manera natural o por un manejo incorrecto. Para la prueba de medición de tamaño se analizaron tres limones (Figura 6) de calibre 2, 3 y 6 según el pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad selecta en limón persa (SAGARPA, 2014).

El Cuadro 1 muestra los valores obtenidos por el sistema para cada uno de los casos, resaltando la relación entre el diámetro obtenido y el calibre del fruto.

La marca de calidad suprema para lima persa establece que deben estar libres de abolladuras o malformaciones, y para determinar que un fruto presenta una forma irregular se puede emplear el análisis de los diámetros calculados para cada captura, de tal manera que una variación significativa indica que el limón presenta una forma diferente a la establecida por definición; una forma de ovoide. Se utilizaron 4 limones persa de diferentes tamaños y diferentes características para la realización de esta prueba, el primer limón (Figura 7a) mantuvo prácticamente una forma esférica sin variaciones a simple vista, los frutos 2, 3 y 4 (Figura 7b, 7c y 7d), debido a posible manejo rudo (excesiva presión en alguna de sus caras) por lo que presentan abolladuras en su forma, apreciándose lados planos.

El Cuadro 2 muestra los valores obtenidos en la prueba de uniformidad en cuanto a diámetro.

De lo anterior, (Cuadro 2), puede establecerse que la forma irregular de los frutos b, c y d, se reflejó en la variación del diámetro obtenido, ya que el fruto presentó una pequeña variación aceptable debido a la forma natural de la lima persa. La gran desviación estándar en los diámetros obtenidos da una idea de la forma irregular de los frutos analizados, condición comprobable en las imágenes mostradas, donde se observaron las caras planas debido al posible mal manejo del producto sometido



Figura 6. Frutos de *Citrus latifolia* Tanaka utilizados en la prueba de análisis del tamaño para verificar la efectividad del diámetro como indicador de tamaño, utilizando calibres: a) 2, b) 3 y c) 6.

Cuadro 1. Valores obtenidos de la prueba de análisis del tamaño para frutos de *Citrus latifolia* Tanaka.

Calibre	Tamaño esperado (mm)	Tamaño de la imagen (Píxeles)	Tamaño medido (mm)
2	59-61	449	61
3	56-59	412	56
6	50-51	369	50

a presiones que modifica su forma original, y ello confirmaría que la desviación estándar aplicada a los diámetros es un buen indicador para la forma del fruto y permite detectar aquellos que presentan anomalías de forma.

Una pruebas efectuada consistió en superponer los contornos obtenidos por cada una de las vistas adquiridas, esta prueba permitió tener una percepción clara de la uniformidad en la forma de las diferentes caras del fruto. La Figura 8 A muestra un fruto empleado para efectuar la reconstrucción tridimensional, mientras que la Figura 8 B, muestra los resultados de poner todas las caras superpuestas en un mismo plano, observando la similitud en forma y tamaño de las diferentes circunferencias.

Cuadro 2. Valores obtenidos en la prueba de uniformidad en el tamaño en cuanto a diámetro de frutos de *Citrus latifolia* Tanaka, \pm desviación estándar.

Fruto analizado	Diámetro promedio (píxeles)
Limón a)	402 \pm 6.0
Limón b)	470 \pm 25.8
Limón c)	474 \pm 22.3
Limón d)	463 \pm 30.8

CONCLUSIONES

El sistema desarrollado es capaz de utilizar la desviación estándar como un buen indicador que permite conocer la uniformidad del color de frutos de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en toda su superficie, y detectar mediante la variación de la misma, manchas de color o marcas indeseables en el producto final; así mismo, permite conocer la uniformidad o tendencia del fruto en cuanto a su forma original. Variaciones considerables en la desviación del diámetro medido indican variaciones indeseables en la forma del fruto.

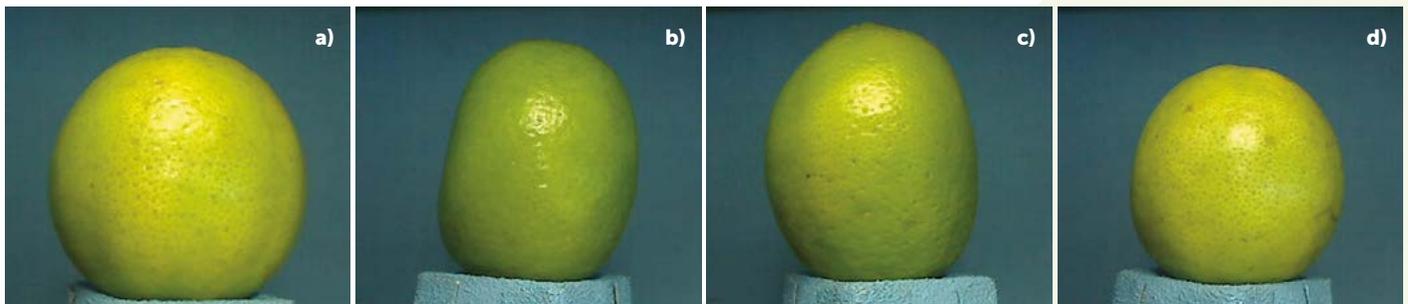


Figura 7. Frutos de *Citrus latifolia* Tanaka utilizados en la prueba de uniformidad en cuanto a diámetro. a) Frutos sin deformaciones, b-d) Frutos con alguna deformación.

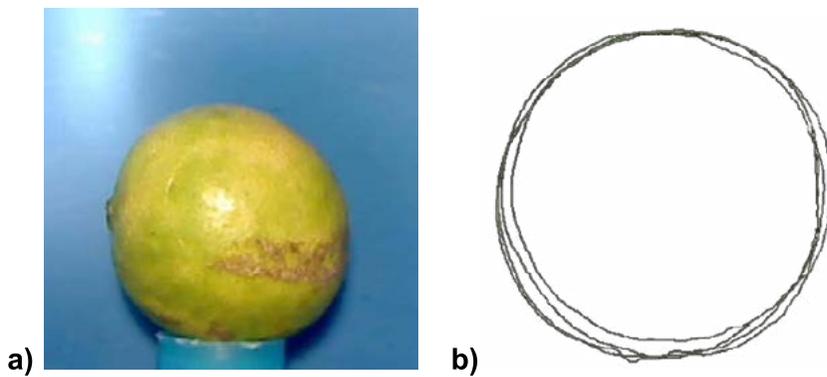


Figura 8. Comparación de las caras de un fruto de *Citrus latifolia* Tanaka. a: Limón empleado para la prueba. b: circunferencias que corresponden a diferentes tomas, efectuadas suponiendo que todas se encuentran en un mismo plano.

LITERATURA CITADA

- Amarasinghe D.I., Sonnadara D.U.J. 2009. Surface colour variation of Papaya fruits with maturity. 25th Technical Sessions of the Institute of Physics – Sri Lanka (Proceedings). Pp 21–28
- Lino A.C.L., Sanches J., Fabbro I.M.D. 2008. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. *Bragantia* 67(3): 785–789
- Arias-Salazar C. 2012. Las pérdidas de productos agrícolas en el proceso de comercialización. Un problema a resolver. *Revista Granma Ciencia* 16(3): 1-8
- Blasco J., Cubero S., Arias R., Gómez J., Juste F., Moltó E. 2007. Development of a Computer Vision System for the Automatic Quality Grading of Mandarin Segments. *Pattern Recognition and Image Analysis* 4478(1): 460–466
- COVECA. 2011. Monografía del limón. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. Gobierno del Estado de Veracruz. 36 p
- Guo F., Qixin C. 2004. Study on color image processing based intelligent fruit sorting system. Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (Proceedings). Pp 4802–4805
- Lee D.J. 2000. Color space conversion for linear color grading. *Intelligent Robots and Computer Vision XIX: Algorithms, Techniques, and Active Vision*. SPIE 4197. (Proceedings). Pp 358–366
- Ruiz-Altisent M. 2004. Calidad y manipulación de los productos agrícolas-hortofrutícolas: el papel de la mecanización y la ingeniería en la producción de alimentos. En: *La transformación industrial de la producción agropecuaria*. Secretaría General Técnica. (Ed.). Departamento de Ingeniería Rural. Universidad Politécnica de Madrid, España. Pp 45-54
- SAGARPA. 2014. Pliego de condiciones para el uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Limón Persa. PC-012-2004. SAGARPA - BANCOMEXT- Secretaría de Economía. México, D. F. 17 p