

SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE LIMÓN (*Citrus Latifolia Tanaka*) BASADO EN DISCRIMINACIÓN POR COLOR

AUTOMATIC SYSTEM FOR LIME SELECTION
(*Citrus Latifolia Tanaka*) BASED ON COLOR DISCRIMINATION

Herrera-Aguilar, I.; Sandoval-González, O.O.; Malagón González, F.; Águila-Rodríguez, G.;
González-Sánchez, B.E.; Flores-Cuautle, J.J.A.

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No 852, Col.
Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz, México. C.P. 94320.

*Autor de correspondencia: iherrera@ito-depi.edu.mx

RESUMEN

Se presenta un sistema automático basado en el procesamiento digital de imágenes para la selección en post-cosecha de limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*), que es el de mayor producción en México. Una cámara de inspección establece las condiciones necesarias para el procesamiento de imágenes realizando el análisis y segmentación color, así como también el análisis morfológico del fruto, el cual determina sus características y calidad. Es un sistema de bajo costo debido a que soporta su operación en una computadora personal y una cámara web de alta definición.

Palabras clave: post-cosecha, RGB, HSV, calidad, lima persa

ABSTRACT

An automatic system based on the digital processing of images for post-harvest selection of Persian lime (*Citrus Latifolia Tanaka*), which of highest production in México, is presented. An inspection camera establishes the conditions necessary for the processing of images performing the analysis and color segmentation, as well as the morphological analysis of the fruit which determines its characteristics and quality. It is a low-cost system because its operation is supported by a personal computer and a high-definition web camera.

Keywords: post-harvest, RGB, HSV, quality, Persian lime.



Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017. pp: 73-78.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad,

México es uno de los principales productores de cítricos en el mundo y se ubica entre los cinco primeros productores de limón y lima (FAO, 2012, 2015). En particular, tres variedades son producidas en el país: limón agrio o mexicano (*Citrus Aurantifolia Christm*, 51 %), limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*, 45 %) y limón italiano (*Citrus Limon Burn*, 4 %) (FND, 2014). Además, es importante mencionar que una parte importante de esta producción está encaminada a la exportación, con 90 % a Estados Unidos y el resto a Europa y Japón, principalmente (Curti Diaz et al., 2000; FND, 2014).

Alcanzar estos niveles de exportación de un producto requiere de un estricto proceso de selección, especialmente en los países con economías emergentes donde el trabajo es realizado manualmente. En particular, para los cítricos el trabajador tiene como herramientas principales su experiencia, vista y tacto para los frutos. Este tipo de actividades basadas en la percepción humana trae consigo problemas tales como diferentes criterios de selección, lo que conlleva a una falta de uniformidad y calidad en el producto. Ocurren también cambios en el criterio de selección cuando cambia el trabajador o debido al cansancio por la repetición monótona de una misma actividad o en la vista, entre otros (Brandt et al., 2004; Tanaka et al., 2012; Zhao y Rong, 2013). El control de calidad en la exportación de limones es una actividad multicriterio; aspectos tales como color uniforme, tonalidad correcta, tamaño estándar, integridad y firmeza del fruto, limpieza, etcétera, son imprescindibles (Curti Diaz et al., 2000; SAGARPA, 2014). Como todo fruto natural, el limón posee variaciones en forma, tonalidad y tamaño que hacen el proceso de selección complejo. Para facilitar esta tarea, las empacadoras tradicionales de la Zona Centro de Veracruz, México han desarrollado una metodología para la selección (Figura 1). Es importante notar que esta metodología está basada en los años de experiencia que se tienen como exportadores del producto. El proceso de recolección se hace manualmente y es la experiencia del trabajador la que determina si es el momento o no de cosechar el fruto, y está comúnmente acompañado de ramas y hojas que son removidas antes de un proceso de lavado. Enseguida, una primera inspección durante este proceso elimina el limón maltratado y/o fuera del rango de tonalidad verde que se desea. El proceso continúa en una banda transportadora donde los trabajadores eliminan el producto que no cumple con los estándares de color. Es importante notar que el limón no debe presentar una coloración amarillenta que indica el nivel de maduración del producto. Posteriormente pasa a un proceso de encerado para evitar su deterioro y darle un brillo al fruto, y

es clasificado mecánicamente por tamaño, el cual depende de su diámetro. Finalmente, el producto es empacado para su refrigeración y distribución. Esta metodología empírica tiene una correspondencia a la descrita en Ministry of Fisheries (2002).

La parte del proceso más sensible a errores debido a la percepción humana es la parte de selección por coloración; aun cuando los trabajadores han recibido una capacitación, no están exentos de dejar pasar un fruto que no cumpla con las características. El problema de ello radica en los tiempos de distribución, ya que el limón tarda semanas en llegar a su destino y en ese tiempo puede madurarse.

Un fruto que se madura puede echar a perder todo un embarque de producto, con pérdidas económicas

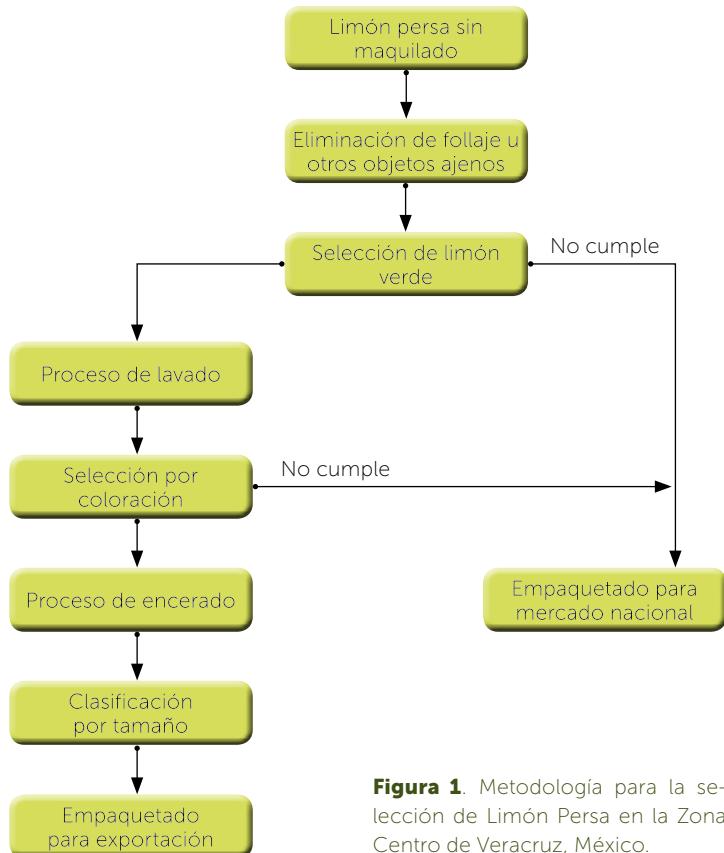


Figura 1. Metodología para la selección de Limón Persa en la Zona Centro de Veracruz, México.

micas para el productor. El procesamiento digital de imágenes tiene ya una historia dentro de las aplicaciones a la agricultura y al campo; un primer concentrado de información trata sobre su uso en el procesamiento de imágenes satelitales (Nagy, 1972). Posteriormente se encuentran trabajos sobre la medición del color en frutos (Wroistad, 1976). Información acerca de la forma se utilizó para la identificación de hierba (Petry y Kuhbauch, 1989) y se puntuiza el aspecto de uso de color en aplicaciones de evaluación de frutos en (McGuire, 1992; Voss, 1992). Sobre la medición de calidad de frutos y vegetales el trabajo de (Abbott, 1999) presenta una serie de técnicas y parámetros a considerar, y más recientemente Saldaña *et al.* (2013). Al final, el procesamiento de imágenes utilizado para la evaluación de frutos en postcosecha es un trabajo que se ha ido mejorando conforme la tecnología avanza (Iqbal y Gopal, 2014), desde una medición de color con sensores electrónicos hasta el uso de cámaras hiper-espectrales que utilizan rayos-X, luz ultravioleta, luz cercana al infrarrojo (Fernández *et al.*, 2014; Cortés *et al.*, 2016) e incluso láser (Lorente *et al.*, 2015). Toda esta tecnología produce buenos resultados; sin embargo, no es tecnología económica o accesible al productor con poca superficie de cultivo. En este trabajo se presenta una alternativa para la solución del problema de selección de limón para su exportación, atacando la parte más sensible al error humano por medio del uso de cámaras web y computadoras personales con el

objetivo de reducir costos. En este sentido, incluso el software desarrollado para la realización final de la tarea es mediante el uso de software libre. El principal criterio para la selección de frutos está basado en la tonalidad del color; en este sentido, una transformación del espacio RGB a HVS es realizada obteniendo una mayor información y alcanzando una mayor robustez en el algoritmo desarrollado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para las pruebas se utilizaron frutos comerciales de Orizaba, Veracruz, México, de la variedad limón persa y frutos provistos por productores de la región de Cuitlahuac, Veracruz de la misma variedad. Se desarrolló un sistema mecatrónico que permite la selección automática de los frutos. El sistema

está constituido por las etapas mostradas en la Figura 2.

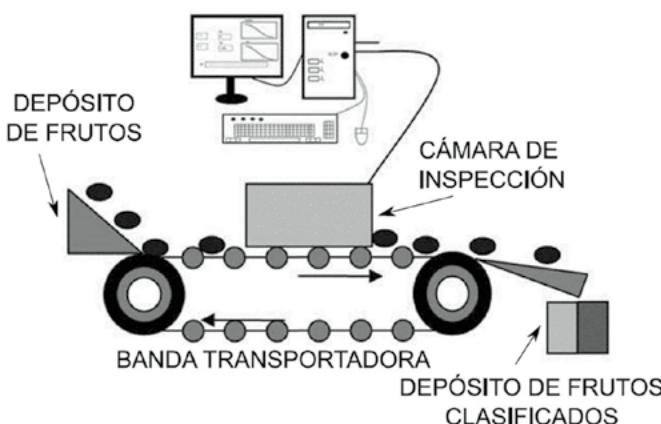


Figura 2 Sistema automático de selección de frutos por coloración.

en la banda transportadora tiene dos aspectos importantes a denotar; el primero radica en el hecho que impide el deslizamiento del limón sobre la misma banda; el segundo, y más importante, permite que los limones rueden sobre su propio eje, lo que permite una observación de la totalidad de la superficie de la epidermis del fruto. Los limones pasan a través de una cámara de inspección donde se lleva a cabo el proceso de selección. Finalmente, la banda termina en un clasificador que por medio de la activación de una válvula electrónica separa a los limones de acuerdo con su tonalidad. El proceso dentro de la cámara de selección requiere de una serie de procedimientos prestablecidos para realizar satisfactoriamente el proceso de selección: Control de Iluminación, Segmentación de Color, Separación por regiones de Interés, Detección de contornos y Detección de Círculos.

Control de iluminación. Para que el procesamiento de imágenes alcance mayor eficiencia es altamente recomendable establecer condiciones de entorno que reduzcan las fuentes de error que conducen a un sobreprocesamiento de imagen. En particular, dos factores son importantes. Primero, la selección del fondo de imagen que debe permitir una selección sencilla de los objetos a procesar (en el presente caso se seleccionó un fondo claro que aumente la iluminación en la escena) y que contraste con los limones. Posteriormente se utilizó iluminación por LEDs de alta intensidad que garantizaran una iluminación estable y constante.

Segmentación de Color. Considerando que el análisis de color es la parte fundamental en la selección de frutos se deben buscar las propiedades de imagen que ofrezcan una mayor selectividad. Diferentes métodos se han desarrollado que van desde variaciones empíricas del espacio de color hasta inteligencia artificial con reconocimiento de patrones. Se debe estar consciente que la segmentación de color separa objetos sin conocimiento previo de alguna otra característica, mientras que el reconocimiento de patrones sí lo requiere (Báez Rojas *et al.*, 2004). La información provista por la mayoría de las cámaras web corresponde al formato RGB. La imagen es representada por tres matrices que corresponden a los tres colores básicos (R-Red, G-Green, B-Blue); sin embargo, esta representación no aporta información sobre el tono (Hue) y la saturación (Chroma) que pueden servir más para los objetivos perseguidos. Es por lo que una transformación al sistema HSV (Hue-Saturation-Value) provee información pertinente. La Figura 3 muestra los resultados.

Separación por regiones de interés. La velocidad de ejecución de una tarea depende del tiempo de ejecución de una operación por el número de operaciones. Tecnológicamente, el hardware ha avanzado en reducir el tiempo de ejecución, mientras que el número de operaciones depende de la tarea y habilidad del programador. En procesamiento de imágenes existe un compromiso entre la calidad de la imagen y la



Figura 3. Imagen en el espacio RGB (a) e imagen en el espacio HSV (b).

velocidad de ejecución; esto es debido a que a mayor calidad de imagen mayor es el número de operaciones que tiene que realizar el software. Para simplificar esto se trabaja en regiones de interés (ROI), que es el equivalente a trabajar con múltiples imágenes pequeñas, pero que

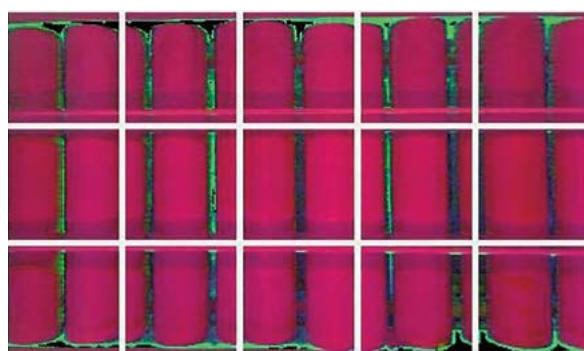


Figura 4. División de las imágenes en ROI (Regions of Interest).

corresponden a las zonas útiles para la búsqueda de limones. La Figura 4 muestra cómo se dividió la imagen que corresponde a los rodillos, formando una rejilla de 3x5 cm, de manera que un fruto se busca en la zona contigua a la dirección de avance y no en toda la imagen.

Detección de contornos. Con la intención de reducir el costo de procesamiento, un filtrado para la detección de contornos es aplicado. La literatura indica que la selección del filtro depende de la aplicación deseada (Heath *et al.*, 1998). Para este proyecto se utilizó el filtro de Canny para la detección de contornos (Canny, 1986).

Detección de círculos. Debido a la geometría propia del limón y con el fin de reducir aún más el proceso de evaluación de tonalidad, una etapa de detección de círculos fue utilizada. Mediante el uso de la transformada de Hough Adaptiva es posible realizar la detección de formas en 2D (Illingworth y Kittler, 1987). El uso de información *a priori* es fundamental para el buen funcionamiento de esta etapa, particularmente cuando se tiene un estimado del radio del círculo que se está buscando. La

Figura 5 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en la detección de círculos en limones depositados sobre la banda transportadora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyó el sistema propuesto, tal como se muestra en la Figura 6, donde se observan las dos guías de limón que permiten la separación



Figura 5. Detección de círculos sobre la banda transportadora.

de los mismos conforme avanzan en la banda transportadora y que genera el número de renglones elegido para la rejilla de Regiones de Interés.

Con el objeto de monitorear el proceso de selección de limón se desarrolló una interfaz gráfica (Figura 7).

El proceso de selección aplicado y visto en la interfaz es el siguiente. Primero, una imagen es tomada de la banda transportadora dentro de la cámara de inspección. Una detección de contornos y círculos es aplicada hasta detectar un limón dentro de una sección de la rejilla. La imagen es procesada por segmentación de color, aplicando una transformación RGB a HSV. Así, sucesivamente se va registrando diferente toma de un limón en su paso por la cámara de inspección. Se realiza un promedio de la tonalidad de cada una de las tomas del



Figura 6. Sistema de selección de limón persa por tonalidad.

limón, dando por resultados una tabla similar a la que indica resultado en la interfaz. La toma de limón clasificado como bueno tiene un promedio superior a 200, el cual indica el color verde y un promedio inferior a 100



Figura 7. Interfaz de monitoreo del proceso de selección.

cuando es tonalidad amarilla. Pueden realizarse dos procesos de selección que dependen de los criterios del productor. En una alternativa se promedian las tomas y se seleccionan con base en un promedio total superior a 200 o, como segunda alternativa, se selecciona al limón, cuyo promedio sea superior en las cinco tomas.

CONCLUSIONES

Se presenta una alternativa económica basada en procesamiento de imágenes en tiempo real que utiliza únicamente una computadora personal, una cámara web y una caja cerrada con iluminación controlada como cámara de inspección; este dispositivo fue desarrollado con la intención de dotar a los productores en pequeño, de un equipo que les ayude en su tarea de selección con el fin de promover la exportación e incrementar sus beneficios. El criterio de selección "rechazo", basado en el promedio de toma, puede ser tan restrictivo si se evalúa por toma, o permisivo si se considera el promedio total, y el que determina esta condición es el criterio del productor. Como trabajo futuro en la intención de alcanzar los volúmenes de producción de maquinarias sofisticadas y caras se considera la utilización de múltiples cámaras especializadas de alta velocidad, dado que es la velocidad de adquisición de imagen quien limita la velocidad de selección.

LITERATURA CITADA

- Abbott J. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology, 15(3), 207–225. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00086-6)
- Báez-Rojas J.J., Guerrero M.L., Conde-Acevedo J., Padilla-Vivanco A., Urcid-Serrano G. 2004. Segmentación de imágenes de color. Revista Mexicana de Física, 50(6), 579-587. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/570/57050605.pdf>
- Brandt T., Stemmer R., Rakotonirainy A. 2004. Affordable Visual] Driver Monitoring System for Fatigue and Monotony *.
- Canny J. 1986. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Anal. Mach. Intell., 8(6), 679-698. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- Cortés V., Ortiz C., Aleixos N., Blasco J., Cubero S., Talens P. 2016. A new internal quality index for mango and its prediction by external visible and near-infrared reflection spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, 118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.011>
- Curti-Díaz S., Loredo-Salazar X., Díaz-Zorrilla U., Sandoval-Rincón J.A., Hernández-Hernández J. 2000. TECNOLOGIA PARA PRODUCIR LIMÓN PERSA (Libro Técn). Veracruz, México: INIFAP-CIRGOC Campo Experimental Ixtacuaco.
- FAO. 2012. Citrus fruit, Fresh and Processed, Annual Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Citrus/Documents/CITRUS_BULLETIN_2012.pdf
- FAO. 2015. Citrus Fruits Statistics 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from www.fao.org/3/a-i5558e.pdf
- Fernández R., Salinas C., Montes H., Sarria J. 2014. Multisensory System for Fruit Harvesting Robots. Experimental Testing in Natural Scenarios and with Different Kinds of Crops. Sensors, 23885–23904. <https://doi.org/10.3390/s141223885>
- FND Financiera Nacional de desarrollo Agropecuario, Rural, F. y P. 2014. Panorama del Limón. SHCP Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Heath M., Sarkar S., Sanocki T., Bowyer K. 1998. Comparison of edge detectors: a methodology and initial study. Proceedings CVPR IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 69(1), 143-148. <https://doi.org/10.1109/CVPR.1996.517066>
- Illingworth J., Kittler J. 1987. The adaptive Hough Transform. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-9(5), 690-698. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1987.4767964>
- Iqbal S., Gopal A. 2014. Automated Quality Inspection of Citrus Fruits-A Review. In 2014 ICAM International Conference on Advanced and Agile Manufacturing, (pp. 1-17). Rochester: ISPE USA and ISAM USA.
- Lorente D., Zude M., Idler C., Gómez-Sanchis J., Blasco J. 2015. Laser-light backscattering imaging for early decay detection in citrus fruit using both a statistical and a physical model. Journal of Food Engineering, 154, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.004>
- McGuire R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience, 27(12), 1254-1255.
- Ministry of Fisheries C.L. 2002. Postharvest Care and Market Preparation. Postharvest Handling Technical Bulletin.
- Nagy G. 1972. Digital Image-Processing Activities in Remote Sensing for Earth Resources. Proceedings of the IEEE, 60(10), 1177-1200. <https://doi.org/10.1109/PROC.1972.8879>
- Petry W., Kuhbauch W. 1989. Automatisierte unterscheidung von unkraut nach formparametern mit hilfe der quantitativen bild analyse. Agronomy Crop Sci., 163, 345-351.
- SAGARPA. 2014. PC-029-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Selecta en Limón Persa. México, D.F.:SAGARPA-BANCOMEXT-SE.
- Saldaña E., Siche R., Luján M., Quevedo R. 2013. Review : computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. Revisão : visão computacional aplicada à inspeção e ao controle da qualidade de frutas e verduras. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, 16(4), 254-272. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000031>
- Tanaka M., Shigihara Y., Ishii A., Funakura M., Kanai E., Watanabe Y. 2012. Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study. Behavioral and Brain Functions, 8(1), 48. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-8-48>
- Voss D.H. 1992. Relating Colorimeter Measurement of Plant Color to the Royal Horticultural Society Colour Chart. HortScience, 27(12), 1256-1260.
- Wroistad R.E. 1976. Color and Pigment Analyses in Fruit Products. Bulletin Agriculural Experiment Station. Oregon State University.
- Zhao X., Rong J. 2013. The Relationship between Driver Fatigue and Monotonous Road Environment. In W. Wang & G. Wets (Eds.), Computational Intelligence for Traffic and Mobility (pp. 19–36). Paris: Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-91216-80-0_2