

# Estimación del volumen del tomate mediante la técnica de reconstrucción 3D

Jonny P. Zavala de Paz, Francisco J. Bucio Castillo, Ely K. Anaya Rivera,  
César A. Isaza Bohorquez, Francisco A. Castillo Velásquez, José A. Rizzo Sierra

Universidad Politécnica de Querétaro,  
División de Tecnologías de la Información,  
México

{jonny.zavala, francisco.bucio, karina.anaya,  
cesar.isaza, francisco.castillo, jose.rizzo}@upq.mx

**Resumen.** Debido a su valor nutricional y económico, el tomate es considerado una de las principales hortalizas en términos de producción y consumo en el mundo. Por esta razón, un estudio importante es el volumen del fruto relacionado con la pérdida de masa. Este proceso se desarrolla en el fruto principalmente después de la cosecha. Como este parámetro afecta el valor económico del cultivo, la comunidad científica ha ido abordando progresivamente el problema; sin embargo, no hay ningún método sin contacto que permita la estimación del volumen. En este trabajo se desarrolla un método cuantitativo que permite estimar el volumen del fruto del tomate mediante una técnica de reconstrucción 3D. El método se basa en una cámara que adquiere diferentes vistas de la silueta de la fruta y mediante el procesamiento de imágenes se genera una nube de puntos 3D y posteriormente una técnica de triangulación de Delaunay, que permite la estimación del volumen 3D de la fruta. Esta estimación de volumen permite el diseño de estrategias precisas enfocadas en la predicción del tomate postcosecha por parte de productores, distribuidores y consumidores.

**Palabras clave.** Reconstrucción 3D, estimación de volumen, procesamiento de imágenes.

## Estimating Volume of the Tomato Fruit by 3D Reconstruction Technique

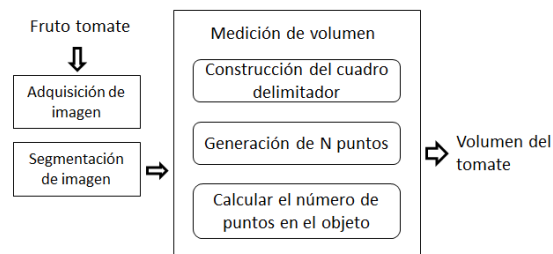
**Abstract.** Due to its nutritional and economic value, the tomato is considered one of the main vegetables in terms of production and consumption in the world. For this reason, an important study is the volume of the fruit related to the loss of mass. This process develops in the fruit mainly after the harvest. This parameter affects the economic value of the crop, the scientific community has

been progressively addressing the problem. However, there is no non-contact method that allows volume estimation. In this work a quantitative method is developed that allows to estimate the volume of the tomato fruit by means of a 3D reconstruction technique. The method is based on a camera that acquires different views of the silhouette of the fruit and by means of image processing a 3D point cloud is generated and later a Delaunay triangulation technique, which allows the estimation of the 3D volume of the tomato fruit. This volume estimation allows the design of precise strategies focused on the prediction of tomato post-harvest by producers, distributors and consumers.

**Keywords.** 3D reconstruction, estimating volume, image processing.

## 1. Introducción

El volumen es uno de los temas importantes en la producción y procesamiento de productos alimenticios. El volumen junto con otras propiedades físicas desempeña un papel importante en el cálculo de la pérdida del agua, la transferencia de calor, la cantidad de aplicaciones de plaguicidas, las tasas de respiración, etc. Para los sistemas de procesamiento de alimentos, las técnicas rápidas y no destructivas para la medición de volumen es útil para clasificar el tamaño, calidad y concentración microbiana [1]. Si se puede determinar el volumen de un producto alimenticio, entonces se pueden estimar fácilmente las otras propiedades físicas, como la masa y la densidad [2, 3].



**Fig. 1.** Metodología utilizada

En frutas y vegetales, el tamaño, la masa, el volumen y los atributos de densidad están algo correlacionados. El volumen y la masa, juntos determinan la densidad de la fruta relacionada con la consistencia y sabor del producto. El volumen también puede usarse para la predicción del tiempo de cosecha [4].

Por ejemplo, el volumen utilizado como característica de clasificación de frutas y hortalizas muestra un coeficiente de correlación de 0.91 con la longitud en la clasificación de chile jalapeño [5]. Las diferencias de densidad también se han utilizado para la inspección de calidad, tales como la prueba de viabilidad de semillas y la prueba de granulación de cítricos. Se han aplicado diferentes modelos matemáticos y métodos de análisis numérico para extraer una representación de volumen.

Algunos métodos comúnmente usados para determinar el volumen incluyen el diámetro medio geométrico, el método de desplazamiento de agua y el método de desplazamiento de gas.

En los últimos años, la visión por computadora se ha encontrado cada vez más útil en la industria agrícola y alimentaria, especialmente para aplicaciones en la inspección de calidad, cumpliendo con los estándares de calidad y aumentando el valor de mercado.

De hecho, la visión por computadora es la herramienta más eficaz para medir características externas tales como intensidad de color, homogeneidad de color, moretones, tamaño, forma e identificación de vástago.

El uso de la visión artificial también está ganando interés por la determinación de atributos físicos de frutas y objetos de forma irregular, porque es un método no destructivo que requiere análisis de imágenes y procedimientos de procesamiento de imágenes.

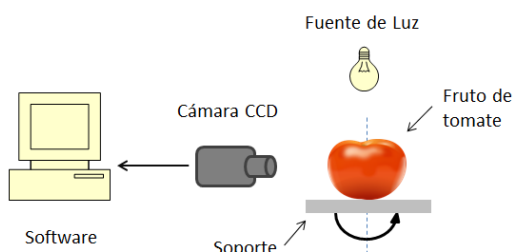
En el trabajo [6] desarrollaron una combinación de visión por computadora y redes neuronales para la estimación del volumen del fruto de pera a partir de las imágenes digitales 2D. En [4] desarrollaron un algoritmo de imagen para medir el volumen de productos agrícolas de forma no circular, como las zanahorias. Una técnica de procesamiento de imágenes para calcular el volumen y la superficie de los productos agrícolas axi-simétricos fueron utilizados en [7, 8]. En [9, 10] desarrollaron un sistema de imagen para estimar el volumen de productos agrícolas de forma irregular usando proyecciones radiales.

En [11] se determinó el volumen de la sandía usando aproximación elipsoide y procesamiento de imágenes. Recientemente se han estudiado clasificadores artificiales generados por computadora que pretenden imitar la toma de decisiones humanas para la clasificación y la calidad del producto.

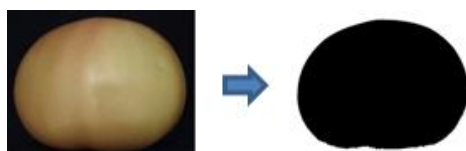
La clasificación en línea del color de lentejas utilizando un escáner de superficie plana con clasificador neuronal desarrollado por [12] logró una precisión general de más del 90%. En el trabajo [13] desarrollaron un sistema de clasificación de frutas en línea basado en características de calidad externa de dos variedades de manzanas, Golden Delicious y Jonagold, utilizando análisis discriminante cuadrático y redes neuronales.

La clasificación de la imagen se realizó en seis pasos: adquisición de imágenes; clasificación del color del suelo; segmentación de defectos; reconocimiento del cáliz y del tallo; caracterización de defectos; y finalmente la clasificación de las frutas en clases de calidad. Ambos algoritmos dieron resultados similares (79% y 72%) para ambas variedades estudiadas. En [14] combinaron técnicas de visión artificial con análisis discriminante Bayesiano para la estimación en línea de la calidad de las naranjas, melocotones y manzanas y evaluaron la eficiencia de estas técnicas con respecto a los siguientes atributos de calidad: tamaño, color, ubicación del tallo y detección de manchas externas.

El objetivo de esta investigación fue proponer una metodología para la medición de parámetro de forma del fruto de tomate utilizando técnica de reconstrucción 3D.



**Fig. 2.** Sistema de reconstrucción 3D



**Fig. 3.** Extracción de la silueta del fruto de tomate

Esta metodología se basa la técnica de vistas múltiples, que permite obtener un modelo tridimensional del tomate.

El caso de estudio podría ser generalizado a otros productos que requieran ser caracterizados morfológicamente. La forma del fruto de tomate fue evaluada respecto a los siguientes factores de forma: elongación, planicidad, razón de aspecto y esfericidad.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Adquisición de datos

El volumen real de los frutos se puede medir por el método de desplazamiento de agua (MDA). El MDA es uno de los métodos más comunes y simples para medir el volumen de objetos grandes como: frutas y vegetales [18]. El procedimiento es como sigue: primero, el fruto es pesado en una balanza y enseguida se sumerge en agua con una barra de plomo. El peso del agua desplazada se calcula restando el peso del contenedor lleno de agua del peso del contenedor cuando contiene la fruta. El valor resultante se usa para calcular el volumen de la fruta usando [18]:

$$\text{volumen (cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso del agua desplazada (kg)}}{\text{densidad del agua (}\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\text{)}}. \quad (1)$$

Aunque el método MDA es bastante preciso, no es ideal para objetos que absorben agua y para

algunos productos, este enfoque puede considerarse intrusivo o destructivo. El volumen de las frutas también se puede calcular numéricamente mediante procesamiento de imágenes.

La metodología implementada en este trabajo implica la determinación del volumen 3D del fruto del tomate mediante la técnica de vistas múltiples. La metodología incluye, la adquisición de los datos, segmentación de la imagen, generación de nube de puntos y la determinación del volumen 3D. En la figura 1 presenta la metodología utilizada en este trabajo.

En la figura 2, se presenta el sistema implementado el cual consiste en un dispositivo que permite rotar el fruto de tomate de 0° a 360°. La cámara (marca PHILIPS PCVC830K/30 con tamaño de imagen de 352x288 pixeles) es posicionada frente al soporte donde se coloca el fruto.

El software desarrollado permite sincronizar el movimiento angular con la adquisición de las imágenes, ejecutando el procesamiento de las imágenes hasta la visualización tridimensional del fruto.

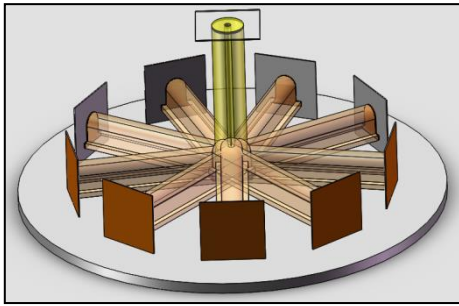
A partir de las imágenes tomadas con la cámara, se realiza la extracción de las siluetas del objeto mediante la segmentación de la imagen aplicando un valor de umbral para eliminar el fondo de la imagen (ver Figura 3). Dicho umbral se estimó mediante el algoritmo de Otsu [15], el cual elige el umbral óptimo maximizando la varianza entre clases (between-class variance) mediante una búsqueda exhaustiva.

Posteriormente, para cada imagen se generan matrices  $S_i$  de orden  $Np \times 3$ , de forma que:

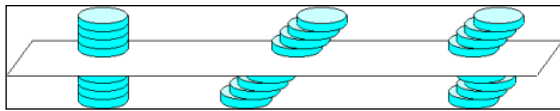
$$S_i = (sx_i \quad sy_i \quad sz_i), \quad (2)$$

donde  $sx_i$ ,  $sy_i$  y  $sz_i$  representan vectores de las coordenadas de los pixeles que pertenecen a la  $i$ -ésima silueta extraída;  $Np$  representa el número de pixeles en la silueta;  $i$  es el índice del número de silueta. Puesto que se trata de imágenes 2D, se considera que  $sx_i = 0$ . Esta matriz representa una nube de puntos 2D que no considera aún el ángulo  $\theta_i$  en el que fue tomada la imagen.

Para obtener las coordenadas 3D de cada silueta, es decir la proyección  $P_i = (xp_i \quad yp_i \quad zp_i)$ ,



**Fig. 4.** Volúmenes generados por la proyección de las traslaciones  $T_k$



**Fig. 5.** División de la nube de puntos en capas

se aplica a  $S_i$  la matriz de rotación alrededor de  $Z$  de un ángulo  $\theta_i$  como en (3):

$$\begin{bmatrix} xp_i \\ yp_i \\ zp_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} sx_i \\ sy_i \\ sz_i \end{bmatrix}, \quad (3)$$

donde  $\theta_i = \theta_i + \alpha$ , con  $\alpha$  igual a un incremento constante.

Posteriormente, para cada matriz  $P_i$  se construye un volumen  $V_i = (xv_{i,k} \ yv_{i,k} \ zv_{i,k})$ , generado por  $M$  traslaciones  $T_k$ , donde  $k=1, \dots, M$ , ( $M$  depende del tamaño de la imagen), dichas traslaciones son normales al plano de proyección  $P_i$ , es decir:

$$\begin{bmatrix} xv_{i,k} \\ yv_{i,k} \\ zv_{i,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xp_i \\ yp_i \\ zp_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k * \lambda * \sin\left(\theta_i + \frac{\pi}{4}\right) \\ k * \lambda * \cos\left(\theta_i + \frac{\pi}{4}\right) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

donde  $\lambda$  es un incremento constante que sirve para garantizar la densidad de la malla del volumen generado por la silueta. La Figura 4 muestra los  $N$  volúmenes así generados.

Finalmente, el volumen total del objeto  $V_T$  se obtiene empleando, que realiza la intersección de los  $N$  volúmenes parciales  $V_i$ :

$$V_T = \bigcap_{i=1, \dots, N} V_i. \quad (5)$$

Para la visualización del objeto se debe generar una malla 3D a partir de la nube de puntos obtenida. Esto se logra utilizando la triangulación de Delaunay [16], que es el proceso mediante el cual se generan triángulos entre los puntos para generar un mallado del objeto 3D.

Debido a que la técnica presentada genera una nube de puntos que van desde la superficie hasta la parte interna del objeto, la triangulación de Delaunay puede ser muy lenta y poco representativa de la forma del objeto. Por lo anterior, se desarrolló un algoritmo para eliminar los puntos internos de la nube y dejar sólo los pertenecientes a la superficie del objeto.

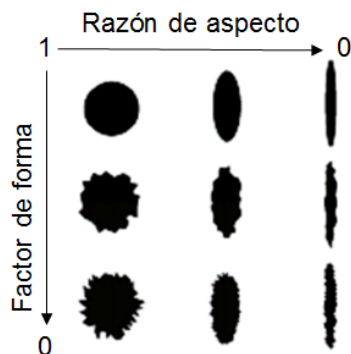
Este algoritmo está basado en dividir la nube de puntos VT del objeto, en cortes o capas como se muestra en la Figura 5. Como la nube de puntos es un arreglo matricial tridimensional, estas divisiones se obtienen tomando capas de igual altura (en este caso de un pixel).

A partir de cada capa, se obtiene una silueta de una sección del objeto, como si fuera su sección transversal. A dicha silueta se le aplica el algoritmo de Canny [17], para extraer únicamente el contorno de la silueta. De esta forma, el conjunto de todas las coordenadas de los contornos representa la nube de puntos de la superficie del objeto. Con esta nueva nube de puntos se puede aplicar la triangulación de Delaunay con la ventaja de que su procesamiento será más rápido y el resultado más realista de la forma del objeto.

Para validar el sistema se calcularon los volúmenes de diferentes objetos de dimensiones conocidas y se compararon los resultados con los valores analíticos.

## 2.2. Parámetros de forma

Las esferas y cubos son los únicos objetos cuyo tamaño se puede dar por solo un número (diámetro o longitud). Las partículas de polvo alimenticios son partículas anisométricas con formas irregulares y es necesario de varios parámetros de tamaño y forma para su caracterización [11]. La razón de elongación y planicidad son representados por las longitudes de tres ejes representativos:  $L$  (longitud del eje



**Fig. 6.** Variaciones del factor de forma y la razón de aspecto

máximo),  $W$  (longitud del eje medio) y  $T$  (longitud del eje menor) [15]. Estas longitudes son equivalentes a las longitudes de los lados de un rectángulo sólido de límite de una partícula.

La razón de elongación ( $ER$ ), ecuación (5), es definida con la razón de la dimensión intermedia ( $W$ ) de la silueta y la dimensión larga ( $L$ ). La razón de elongación para objetos circulares es igual a la unidad. Cuanto más alargada la forma, mayor es su factor de elongación ( $>1$ ) [11]:

$$ER = \frac{W}{L}. \quad (6)$$

La razón de planicidad ( $FR$ ) es definida como la razón de la dimensión corta ( $T$ ) y la dimensión intermedia:

$$FR = \frac{T}{W}. \quad (7)$$

La razón de aspecto ( $AR$ ) se define como la razón de la dimensión larga ( $L$ ) y la dimensión intermedia:

$$AR = \frac{L}{W}. \quad (8)$$

El factor de forma ( $SF$ ) ha sido utilizado para describir la irregularidad de la superficie y es definida como:

$$SF = \frac{T}{\sqrt{WL}}. \quad (9)$$

La Figura 6 muestra la variación que hay en el factor de forma ( $SF$ ) y la razón de aspecto ( $AR$ ) de las dimensiones de una partícula.

Los datos obtenidos a partir de la partícula en 3D permite la estimación de esfericidad  $Sp$ , que corresponde al factor de circularidad pero en 2D.

El valor de esfericidad está definido en un rango de 0 a 1, donde el valor más cercano a 1 indica que la partícula es más esférica [15]:

$$Sp = \frac{d_n}{L}, \quad (10)$$

donde el diámetro nominal  $d_n$  se calcula:

$$d_n = \left(\frac{6V}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (11)$$

El área de superficie nominal  $s_n$ :

$$s_n = (36\pi V^2)^{\frac{1}{3}}. \quad (12)$$

El volumen  $V$ , así como las longitudes  $L$ ,  $W$  y  $T$  de las partículas de aglomerados se pueden obtener a partir del modelo 3D del fruto de tomate.

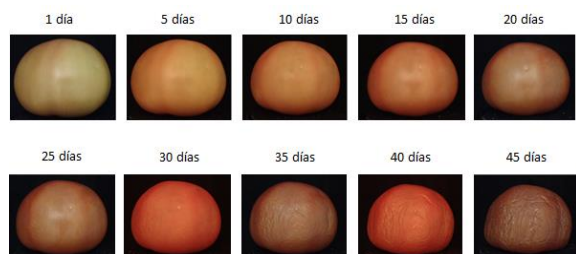
### 3. Extracción de parámetros de forma

#### 3.1. Fruto de tomate

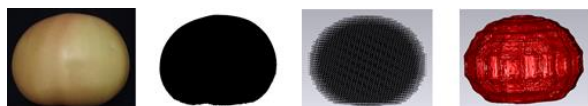
Para este estudio se tomó una muestra de 50 tomates tipo bola de la mejor variedad el 13 de abril de 2017 a las 8:30 am. La muestra se obtuvo de una propiedad de invernadero de la Compañía Farmacéutica de Alto Grupo ubicada en la localidad de Colón, municipio de Ajuchitlán, estado de Querétaro, México. La muestra se almacenó en un refrigerador doméstico de Samsung. El almacenamiento, distribución de la muestra se dividió en tres secciones: dos con 24 frutos y la última con 2 frutos. El promedio de la temperatura y humedad relativa se mantuvo controlado a 4°C y 33% respectivamente, mientras que la temperatura y la humedad del ambiente variaron entre 26-29°C y 30-33%, respectivamente. Se utilizó una escala de precisión digital Taylor (modelo TE32C) para el registro diario de la masa de cada muestra, cuidadosamente etiquetada.

#### 3.2. Procesamiento de imagen

El fruto de tomate fue montado sobre el soporte de la base giratoria, como se presenta en la Figura 1. La figura 7 presenta el proceso de maduración del fruto de tomate, conforme pasan los días se



**Fig. 7.** Proceso de maduración del fruto de tomate



**Fig. 8.** Representación del fruto de tomate: imagen original, imagen segmentada, nube de puntos y reconstrucción 3D

**Tabla 1.** Parámetros de forma de fruto de tomate

| Días | V<br>(mm <sup>3</sup> ) | Área<br>(mm <sup>2</sup> ) | Peso<br>(Kg) | Sp   |
|------|-------------------------|----------------------------|--------------|------|
| 1    | 40.98                   | 2899.0                     | 0.217        | 0.91 |
| 5    | 39.89                   | 2867.7                     | 0.216        | 0.90 |
| 10   | 39.12                   | 2821.7                     | 0.215        | 0.90 |
| 15   | 38.92                   | 2819.7                     | 0.213        | 0.83 |
| 20   | 37.51                   | 2785.9                     | 0.212        | 0.79 |
| 25   | 35.13                   | 2742.6                     | 0.211        | 0.72 |
| 30   | 34.74                   | 2730.2                     | 0.21         | 0.69 |
| 35   | 33.46                   | 2604.8                     | 0.208        | 0.68 |
| 40   | 32.91                   | 2515.5                     | 0.207        | 0.64 |
| 45   | 31.80                   | 2411.3                     | 0.20         | 0.62 |

**Tabla 2.** Comparaciones de las mediciones de volumen mediante WDM y reconstrucción 3D

| Producto |          | Volumen (cm <sup>3</sup> ) |                   |
|----------|----------|----------------------------|-------------------|
|          |          | MDA                        | Reconstrucción 3D |
| Tomate   | Mínimo   | 32.3101                    | 31.8006           |
|          | Máximo   | 41.9960                    | 40.9805           |
|          | Promedio | 37.1530                    | 36.3905           |

observa que el volumen del tomate va disminuyendo.

La figura 8 presenta la imagen original del fruto de tomate, segmentación de la imagen, nube de puntos 3D y el modelo 3D del fruto.

La tabla I presenta los resultados de las mediciones de los parámetros de forma de frutos de tomates, conforme pasaron los días de

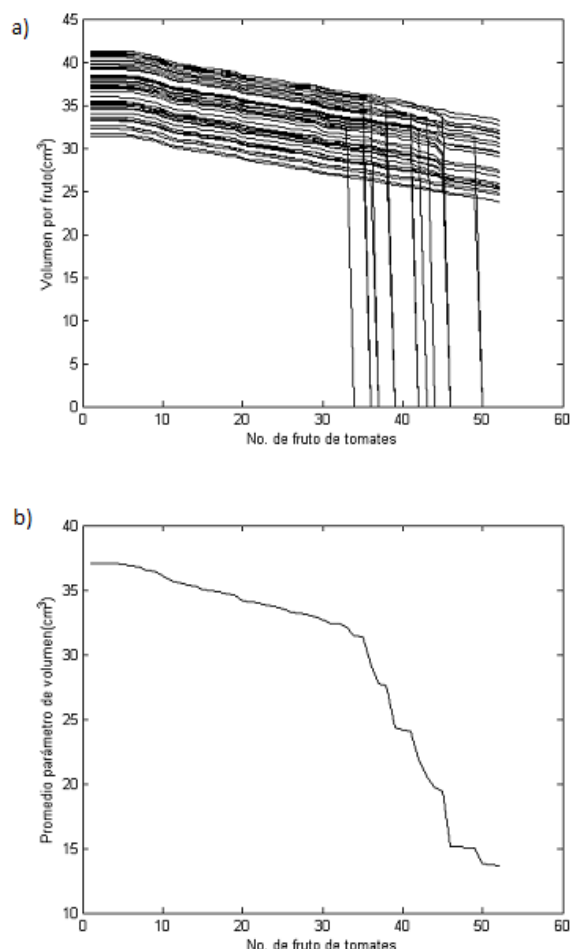
maduración fue cambiando el volumen y esfericidad.

Los valores mínimo, máximo y promedio de volumen (medido con WDM y estimado con la técnica de reconstrucción 3D) se presentan en la tabla II. El factor escala fue obtenido utilizando objetos de dimensiones conocidas como una esfera perfecta. Estos valores se usaron para convertir unidades de medida de pixeles a cm<sup>3</sup>.

La estimación del volumen del fruto del tomate desarrollada en este trabajo presentó una alta precisión en términos de porcentaje de estimación del volumen en 3D (97.55%) y bajo error de aproximación (2.45%) en comparación con datos experimentales. Esto se logró mediante una estimación de proyección de vistas múltiples de imágenes que permitieron obtener el volumen en 3D. Por lo tanto, la metodología propuesta para la estimación del volumen en 3D del fruto del tomate desarrollado aquí puede ser una herramienta útil tanto para los productores como para los consumidores para gestionar mejor los desafíos logísticos del mercado poscosecha. En este contexto, lo desarrollado en este trabajo podría permitir a productores y consumidores reducir las pérdidas económicas que afectan al tomate durante el proceso de maduración y comercialización. Además, esta metodología permite estimar el volumen en 3D también y puede aplicarse a otras frutas con características climáticas similares de la región como: mango, plátano, manzana, aguacate, etc.

## 4. Conclusiones

El proceso de comercialización de la fruta de tomate en México requiere varios pasos logísticos para llevar las frutas frescas de la cosecha al consumidor. Dependiendo del mercado al que va dirigido (nacional o internacional), el manejo poscosecha del tomate incluirá: carga, transporte, recepción, almacenamiento, clasificación y venta. Hay pocos casos en que el productor agrícola tenga una conexión directa con supermercados, empresas de procesamiento de alimentos o consumidores finales. En el caso del mercado interno o nacional, existen dos canales de comercialización principales para el tomate: en el primero, el productor destina su producción



**Fig. 9.** a) Volumen de los 50 frutos de tomate. b) Promedio del volumen del fruto de tomate

envasada a los centros de suministro, tiendas de autoservicio y empresas de procesamiento para finalmente distribuirlo a los consumidores. En el segundo, los intermediarios recolectan la producción del agricultor y la envían a los mercados y almacenes locales.

Por otro lado, en el mercado internacional, los productores mexicanos de tomate envían su producción empaquetada a un corredor que está a cargo de canalizarla hacia tiendas de autoservicio y distribuidores que la hacen llegar al consumidor extranjero.

En este trabajo se presenta una estimación de volumen del fruto de tomate mediante una técnica de reconstrucción 3D basada en una cámara.

## 5. Trabajo futuro

Entre los resultados secundarios de este estudio se encuentra una base de datos con parámetros dimensionales como área, diámetro (longitudinal, señal y transversal), complementando la adquisición de imágenes digitales durante el proceso de maduración del fruto del tomate. Esta información permitirá estudios adicionales relacionados con la estructura física de la fruta relacionada con parámetros como características de la superficie, el color y sus cambios durante la maduración.

## Referencias

1. Lee, D.J., Xu, X., Eifert, J., Zhan, P. (2006). Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. *Optical Engineering*, Vol. 45, No. 2, pp. 027202. DOI: 10.1117/1.2166847.
2. Koc, A.B. (2007). Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 45, No. 3, pp. 366–371. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.03.010.
3. Wang T.Y., Nguang S.K. (2007). Low cost sensor for volume and surface area computation of axis-symmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering*, Vol. 79, No. 3, pp. 870–877. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.084.
4. Hahn, F., Sanchez, S. (2000). Carrot volume evaluation using imaging algorithms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 75, No. 3, pp. 243–249. DOI: 10.1006/jaer.1999.0466.
5. Hahn, F., Mota, R., Vazquez, M. (1997). Nobel automatic jalapeno chili classifier fits inside a trailer. *ASAE Paper*, No. 973054.
6. Forbes, K.A., Tattersfield, G.M. (1999). Estimating fruit volume from digital images. *Africon IEEE*, Vol. 1, pp. 107–112. DOI: 10.1109/AFRCON.1999.820775.
7. Sabliov, C.M., Boldor, D., Keener, K.M., Farkas, B.E. (2002) Image processing method to determine surface area and volume of axis-symmetric agricultural products. *International Journal of Food Properties*, Vol. 5, No. 3, pp. 641–653. DOI: DOI:10.1081/JFP-120015498.
8. Wang, T.Y., Nguang, S.K. (2007). Low cost sensor for volume and surface area computation of axis-symmetric agricultural products. *Journal of Food*

- Engineering, Vol. 79, No. 3, pp. 870–877. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.084.
9. **Lee, D.J., Eifert, J.D., Zahn, P., Westover, B. (2003).** Fast surface approximation for volume and surface area measurements using distance transform. *Optical Engineering*, Vol. 42, No. 10, pp. 2947–2955. DOI: 10.1117/1.1605737.
10. **Eifert, J.D., Sanglay, G.C., Lee, D.J., Sumner, S.S., Pierson, M.D. (2006).** Prediction of raw produce surface area from weight measurement. *Journal of Food Engineering*, Vol. 74, No. 4, pp. 552–556. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.02.030.
11. **Koc, A.B. (2007).** Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 45, No. 3, pp. 366–371. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.03.010.
12. **Shahin, M.A., Symons, S.J. (2001).** A machine vision system for grading lentils. *Le Genie des Biosystems au Canada*, Vol. 43, pp. 7.7–7.14.
13. **Leemans, V., Magein, H., Destain, M.F. (2002).** On-line fruit grading according to their external quality using machine vision. *Canadian Biosystems Engineering*, Vol. 83, pp. 397–404.
14. **Blasco, J., Aleixos, N., Molto, E. (2003).** Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*, Vol. 85, No. 4, pp. 415–423. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00088-6.
15. **Otsu, N. (1979).** A threshold selection method from gray level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, pp. 62–66. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
16. **Delaunay, B. (1934).** Sur la sphere vide. *Bulletin de L'Académie des Sciencs de L'URSS*, pp. 793–801.
17. **Canny, J. (1986).** A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 679–698. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
18. **Mohsenin, N.N. (1970).** Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers.

*Article received on 05/03/2021; accepted on 22/05/2021.  
Corresponding author is Francisco A. Castillo Velásquez.*