

LOCALIZACIÓN DEL ÁPICE DEL AJO MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DIGITAL DE IMAGEN

LOCALIZATION OF GARLIC APEX BY DIGITAL IMAGE ANALYSIS TECHNIQUES

Noé Saldaña-Robles*, Ryszard J. Serwatowski Hlawinska, Ruth A. Aguilera Hernández, Alberto Saldaña-Robles, Oscar A. Martínez-Jaime, César Gutiérrez-Vaca

Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Vida. Ex Hacienda El Copal. 36500. Carr. Irapuato-Silao km. 9. A.P. 311. Irapuato, Guanajuato. (saldanar@ugto.mx).

RESUMEN

La siembra y la cosecha son las operaciones más costosas en la producción del ajo (*Allium sativum* L.), pues se realizan a mano. Para hacer factible la siembra mecanizada, el diente de ajo se debe colocar en el suelo con el ápice hacia arriba porque colocarlo al azar reduce el rendimiento hasta en 23 %. El objetivo de este estudio fue desarrollar un algoritmo para identificar el ápice del ajo mediante visión artificial. Para ello se empleó una cámara de video y lámparas de iluminación, con lo cual se obtuvieron imágenes digitales de dientes de ajo. Las imágenes se procesaron para identificar el ápice en cuatro pasos: 1) captura de la imagen; 2) detección del borde perimetral de los dientes de ajo; 3) cálculo de ángulos en el interior del borde de los dientes y localización del ápice bajo la hipótesis de que éste coincide con el ángulo más pequeño en el interior del borde; 4) identificación de la necesidad de reorientar el ápice. El impacto de la posición y tamaño en la correcta identificación del ápice se evaluó estadísticamente y se compararon los métodos de detección de bordes Canny, Roberts y Sobel. Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.10$) entre los diferentes tamaños y las posiciones del ajo al localizar el ápice, lo cual resulta conveniente. Pero sí hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.10$) entre los métodos de detección de bordes utilizados, porque el de Canny tuvo mejor desempeño en la localización del ápice. El algoritmo desarrollado en esta investigación se podría usar para diseñar un sistema mecánico que reoriente el ápice a través de visión artificial en la siembra de ajo.

Palabras clave: *Allium sativum* L., detección de bordes, Canny, mecanización de la siembra, visión artificial.

ABSTRACT

Sowing and harvesting are the most costly operations in the garlic production (*Allium sativum* L.), because they are carried out by hand. In order for mechanized sowing to be feasible, the garlic clove must be placed in the soil with the apex facing upwards because placing it randomly reduces its yield in up to 23 %. The objective of this study was to develop an algorithm to identify the garlic apex through artificial vision. For this purpose, a video camera and illumination lamps were used, with which digital images of the cloves of garlic were obtained. The images were processed to identify the apex in four steps: 1) capturing the image; 2) detecting the perimeter edge of the garlic cloves; 3) calculating the angles on the inside edge of the cloves and localizing the apex under the hypothesis that it coincides with the smallest angle on the inside edge; 4) identifying the need of reorienting the apex. The impact of the location and size in the correct identification of the apex was evaluated statistically and the border detection methods Canny, Roberts and Sobel were compared. The results did not show significant statistical differences ($p > 0.10$) between the different sizes and positions of the garlic when localizing the apex, which is convenient. However, there were significant statistical differences ($p \leq 0.10$) between the border detection methods, because Canny's had a better performance in the localization of the apex. The algorithm developed in this research could be used to design a mechanical system to reorient the apex through artificial vision in garlic sowing.

Keywords: *Allium sativum* L., border detection, Canny, mechanization of sowing, artificial vision.

INTRODUCTION

Mexico occupied one of the first ten places in garlic exports (*Allium sativum* L.) in the world, between 2002 and 2011, representing income of over 13 million dollars

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2015. Aprobado: septiembre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 215-225. 2016.

INTRODUCCIÓN

México ocupó uno de los diez primeros lugares en exportación de ajo (*Allium sativum* L.) en el mundo, entre 2002 y 2011, con ingresos por más de 13 millones de dólares anuales (Reveles *et al.*, 2009). Los principales estados productores de ajo en México son Zacatecas, Guanajuato y Baja California con una superficie sembrada mayor a 5000 ha (SIAP, 2015). Hay estudios acerca de la adaptación climática del ajo en regiones geográficas estratégicas de México (Pérez *et al.*, 2010; Reveles H. *et al.*, 2011). La siembra del ajo se realiza manualmente, hundiendo el diente en el suelo con el ápice hacia arriba, a una profundidad de 4 a 6 cm; esta labor requiere experiencia, ya que de esto depende una buena germinación y el desarrollo de la planta (Calderón *et al.*, 2003). La semilla colocada con el ápice al azar tendrá un impacto negativo con el rendimiento (Chengqian *et al.*, 2008). Las sembradoras mecánicas o neumáticas reducen el tiempo de siembra en 3 a 1 (Calderón *et al.*, 2003), pero reducen hasta 23 % el rendimiento (Castellanos *et al.*, 2004), respecto a la siembra manual de ajo. La siembra mecanizada busca colocar dientes a distancia regular, reducir el daño mecánico a los dientes y colocar el diente en el suelo con el ápice hacia arriba (Bakhtiari y Loghavi, 2009). Chi y Hui (2013) presentaron un dispositivo para orientar el ajo con base en análisis de imagen digital. Ellos usaron un algoritmo que binarizó la imagen del ajo (ceros para el fondo y unos para el ajo) y analizó la parte inferior de la imagen revisando dos líneas horizontales de píxeles; si alguna de las líneas presentaba pocos píxeles blancos consideraron que se trataba del ápice, de lo contrario se trataba de la raíz. Tavakoli y Najafzadeh (2015) identificaron brotes en papas analizando el borde con un algoritmo basado en el detector de bordes Prewitt. En algunos prototipos de sembradora neumática de ajo como el desarrollado por Cabrera y Serwatowski (1996), podría instalarse un sistema de visión artificial que permita mediante un mecanismo electromecánico orientar correctamente el ápice de ajo durante la siembra. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue desarrollar y evaluar un algoritmo para el sistema de visión artificial del prototipo que permita localizar y decidir si se reorienta el ápice del ajo. La hipótesis fue que el algoritmo propuesto podrá identificar la orientación del ápice de los dientes de ajo mediante el análisis

anualmente (Reveles *et al.*, 2009). The primary garlic producing states in Mexico are Zacatecas, Guanajuato and Baja California with a surface sown of over 5000 ha (SIAP, 2015). There are studies about the climate adaptation of garlic in strategic geographical regions in Mexico (Pérez *et al.*, 2010; Reveles H. *et al.*, 2011). Garlic sowing has been performed manually by submerging the clove in the soil with the apex facing upwards at a depth of 4-6 cm; this task requires experience, since good germination and plant development depend on it (Calderón *et al.*, 2003). The seed placed with the apex randomly will have a negative impact on the yield (Chengqian *et al.*, 2008). Mechanical or pneumatic sowers reduce the sowing time in 3 to 1 (Calderón *et al.*, 2003), but they reduce up to 23 % of the yield (Castellanos *et al.*, 2004), compared to manual garlic sowing. Mechanized sowing seeks to place cloves at a regular distance, reduce the mechanical damage to the cloves and place the clove in the soil with the apex facing upwards (Bakhtiari and Loghavi, 2009). Chi and Hui (2013) presented a device to orient the garlic based on the analysis of digital image, for which they used an algorithm that made the image of the garlic binary (zeros for the background and ones for the garlic) and analyzed the inferior part of the image by reviewing two horizontal lines of pixels; if one of the lines presented few white pixels, they considered that it was the apex, and otherwise it was the root. Tavakoli and Najafzadeh (2015) identified shoots in potatoes by analyzing the edge of the potatoes through an algorithm based on the detector of Prewitt edges. In some prototypes of pneumatic sowers for garlic, such as the one developed by Cabrera and Serwatowski (1996), an artificial vision system could be installed that allows orienting the garlic apex correctly during sowing through an electromechanical mechanism. Because of this, the objective of this study was to develop and evaluate an algorithm for the artificial vision system of the prototype to allow localizing and deciding whether the garlic apex should be reoriented or not. The hypothesis was that the algorithm proposed could identify the orientation of the apex of the garlic cloves through the analysis of images of the cloves, captured with a camera, under conditions of controlled illumination, by using an Edge Detector Method and without the influence of the size and the localization of the garlic clove.

de imágenes de dientes de ajo, capturadas con una cámara, bajo condiciones de iluminación controlada, empleando un Método Detector de Bordes y sin la influencia del tamaño y la posición del diente de ajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación del algoritmo consistió en analizar la influencia del tamaño y la posición de los dientes de ajo sobre la correcta localización del ápice. El algoritmo se basa en información del borde del ajo, por lo cual se evaluaron tres métodos de detección de bordes (MDB), Canny, Robert y Sobel.

El algoritmo desarrollado para detectar el ápice en este estudio retomó ideas de otros estudios (Chi y Hui, 2013; Tavakoli y Najafzadeh, 2015), y se compone de cuatro etapas: 1) Capturar la imagen del diente de ajo; 2) detectar el borde del diente de ajo en la imagen; 3) localizar el ápice a partir del borde; y 4) identificar la necesidad de reorientar el ápice. El algoritmo se desarrolló en MATLAB® 8a instalado en una computadora de escritorio (Intel®, Pentium® CPU 3.80 GHz y 2.00 GB de RAM). La semilla se seleccionó eliminando los dientes de ajo con daños mecánicos, enfermos, podridos o deformes, y se clasificaron en cuatro tamaños de acuerdo con su espesor (Figura 1): chico (0.4-0.8 cm), mediano (0.8-1.3 cm), grande (1.3-1.8 cm) y jumbo (1.9-2.5 cm). El total de dientes ajos fue 60, esto es 15 de cada tamaño.

Las imágenes de dientes de ajo se capturaron con una cámara de video CS120-Intel configurada para una resolución de 320×288 píxeles y conectada a la computadora de escritorio. La cámara se instaló en una estructura metálica de puente con el lente orientado hacia abajo, a 28 cm arriba del ajo, sobre la banda transportadora del prototipo ya descrito (Figura 2).

Un par de Lámparas StockerYale Lotus (Prophotronics, Salem, NH, EE.UU.) fueron colocadas a 45 cm arriba del ajo, con ángulo de 25 grados respecto de la horizontal (Figura 2). Las alturas y ángulos mencionados permitieron una intensidad de iluminación uniforme y adecuada para maximizar el contraste ajo-fondo y minimizar la sombra del ajo. El fondo de las imágenes para contrastar el color del ajo fue una banda plana de hule neopreno. Los ajos se colocaron sobre la banda transportadora con el

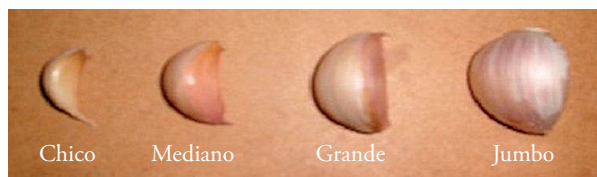


Figura 1. Clasificación de los ajos por tamaño.
Figure 1. Garlic classification by size.

MATERIALS AND METHODS

The evaluation of the algorithm consisted in analyzing the influence of the size and the localization of the garlic cloves on the correct localization of the apex. The algorithm is based on the information of the garlic edge, so that three methods for edge detection (MED) were evaluated: Canny, Robert and Sobel.

The algorithm developed to detect the apex in this study took up ideas from other studies (Chi and Hui, 2013; Tavakoli and Najafzadeh, 2015), and is made up of four stages: 1) Capturing the image of the garlic clove; 2) detecting the edge of the garlic clove in the image; 3) locating the apex from the edge; and 4) identifying the need to reorient the apex. The algorithm was developed in MATLAB® 8a installed in a desktop computer (Intel®, Pentium® CPU 3.80 GHz and 2.00 GB RAM). The seed was selected by eliminating the cloves of garlic with mechanical damage, with disease, rotten or deformed, and they were classified into four sizes according to their thickness (Figure 1): small (0.4-0.8 cm), medium (0.8-1.3 cm), large (1.3-1.8 cm) and jumbo (1.9-2.5 cm). The total of garlic cloves was 60, that is, 15 of each size.

The images of garlic cloves were captured with a CS120-Intel video camera configured for a resolution of 320×288 pixels and connected to the desktop computer. The camera was installed on a metallic bridge structure with the lens oriented downwards, 28 cm above the garlic, on the transporter band of the prototype already described (Figure 2).

A pair of Stocker Yale Lotus Lamps (Prophotronics, Salem, NH, USA) were placed 45 cm above the garlic, with an angle of

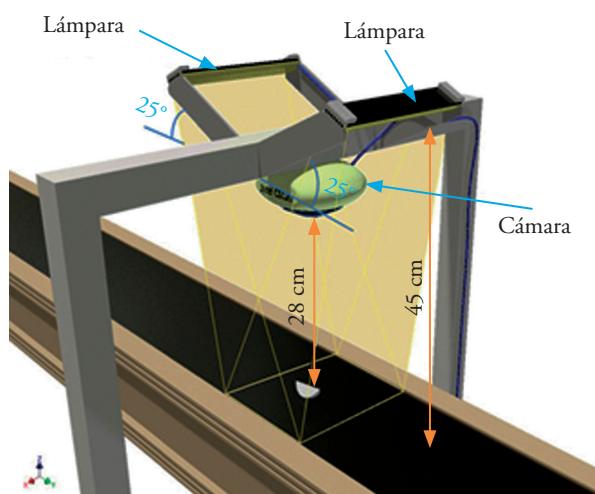


Figura 2. Esquema del sistema de visión artificial para la captura de las imágenes del ajo.

Figure 2. Scheme of the artificial vision system for the capture of garlic images.

ápice en posición aleatoria. Las imágenes de los 60 dientes de ajo se capturaron con los dientes en dos posiciones, lateral y frontal, que por la geometría del ajo son las únicas posibles. Las imágenes se procesaron usando tres MDB y generando 360 imágenes de bordes de los dientes de ajo.

El algoritmo desarrollado en este estudio incluye como parte fundamental la detección del borde de los dientes de ajo. La información contenida en el borde se puede usar para segmentar la imagen o para reconocer objetos y las formas geométricas de sus contornos. La mayoría de los MDB emplean operadores locales basados en distintas aproximaciones discretas de la primera y segunda derivada de los niveles de gris en la imagen (Alcañiz *et al.*, 1999). Los resultados generados por cada MDB son diferentes (Bin y Samiei, 2012). Por lo anterior, en el presente estudio se probaron tres de los MDB más comunes: Canny (1986), Sobel (1990) y Roberts (1965). Los umbrales para cada MDB se eligieron de acuerdo con las condiciones de iluminación de la imagen, pues las lámparas se colocaron sobre un diente de ajo minimizando las sombras en la imagen y esperando como resultado del MDB, un borde definido y cerrado del contorno del diente de ajo (Figura 3B). Los umbrales resultantes de la prueba fueron: 0.6 para Roberts, 0.6 para Sobel, y para Canny el umbral inferior fue 0.45 y el umbral superior 0.8.

El ápice se localizó según los pasos de la Figura 4: 1) Los tres MDB se aplicaron a las imágenes de los dientes de ajo (Figura 3A); 2) el procedimiento de limpieza del borde generó imágenes de borde (Figura 3B); 3) los píxeles que conforman los bordes detectados se definieron en función de su posición dentro de la imagen, para lo cual cada píxel se consideró como un punto P de coordenadas (x, y), donde x es el número de columna, y es el número de fila de la matriz de píxeles que forman la imagen de borde, donde la imagen tiene el píxel de coordenadas (0,0) en su esquina superior izquierda; y 4) los

25 degrees with regard to the horizontal (Figure 2). The heights and angles mentioned allowed a uniform and adequate intensity in illumination to maximize the garlic-background contrast and minimize the garlic's shadow. The background of the images used to contrast the garlic color was a flat band of neoprene rubber. The garlics were placed on the transporter band with the apex in a random position. Images of the 60 cloves of garlic were captured with the cloves in two positions, lateral and frontal, which because of the garlic's geometry are the only ones possible. The images were processed using three MEDs and generating 360 images of edges of garlic cloves.

The algorithm developed in this study includes the detection of the edge of the garlic clove as a fundamental part. The information contained on the edge can be used to segment the image or to recognize objects and the geometrical shapes of their contours. Most of the MEDs use local operators based on different discrete approximations from the first and second derivatives of the levels of grey in the image (Alcañiz *et al.*, 1999). The results generated by each MED are different (Bin and Samiei, 2012). Therefore, in this study three of the most common MEDs were tested: Canny (1986), Sobel (1990) and Roberts (1965). The thresholds for each MED were chosen according to the conditions of illumination of the image, since the lamps were placed on a garlic clove minimizing the shadows in the image and expecting a definite and closed edge of the garlic clove's contour as a result of the MED (Figure 3B). The resulting thresholds of the test were: 0.6 for Roberts, 0.6 for Sobel, and in Canny the inferior threshold was 0.45 and the superior threshold 0.8.

The apex was located according to the steps in Figure 4: 1) The three MEDs were applied to the images of garlic cloves (Figure 3A); 2) the procedure of cleaning the edge generated images of the edge (Figure 3B); 3) the pixels that made up the edges detected were defined in function of their location within

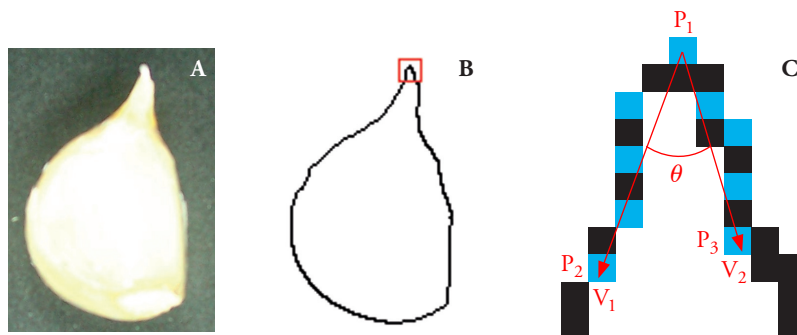


Figura 3. A) Imagen de un diente de ajo; B) detección del borde por Canny; C) cálculo del ángulo interno del borde para identificar el ápice del diente.

Figure 3. A) Image of a clove of garlic; B) detection of the edge by Canny; C) calculation of the internal angle to identify the clove's apex.

ángulos internos θ para cada pixel del borde se calcularon de las coordenadas de P en tres pixeles (Figura 3C).

En la Figura 3C se observa el concepto, a partir de las coordenadas de P_1 , P_2 y P_3 se determinaron los vectores \vec{V}_1 y \vec{V}_2 , y con la Ecuación 1 se calculó el ángulo interno θ_1 para el punto P_1 del borde del diente de ajo. Esta operación se repitió para cada pixel en el borde y se obtuvo un conjunto de ángulos asociados a los pixeles del borde.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{V}_1 \cdot \vec{V}_2}{|\vec{V}_1| |\vec{V}_2|} \quad (1)$$

donde θ es el ángulo interno formado entre los vectores \vec{V}_1 y \vec{V}_2 .

El último paso del algoritmo fue indicar la localización P encontrada para el ápice, así como un breve mensaje sobre reorientar o no el ápice. En la Figura 4 se resume el algoritmo para localizar y decidir la reorientación del ápice del ajo.

Al concluir el algoritmo, los resultados de la localización del ápice y el mensaje de reorientación se revisaron visualmente. La variable respuesta Detección del Ápice (DA) adquirió un valor de 1 para los casos en que el algoritmo localizó el ápice del ajo y tomó la decisión de girarlo correctamente, y 0 en caso contrario. Los factores implicados en el análisis de DA fueron el tamaño (TA), la posición (PO) y el MDB. Como la variable DA tuvo una respuesta dicotómica, se transformó a una variable (DAT) en escala intervalar, la cual es un tipo particular de escala en la que una amplitud se divide en fracciones equidistantes, para medir las diferencias relativas, con respecto a los puntos de la escala total. Para crearla, se establecieron tres conjuntos de datos para

the image, for which each pixel was considered as a P point of coordinates (x, y), where x is the number of the column, y is the number of the row of the pixel matrix that makes up the image of the edge, where the image has the pixel of the coordinates (0,0) in its superior left corner; and 4) the internal angles θ for each pixel of the edge were calculated from the P coordinates in three pixels (Figure 3C).

The concept is shown in Figure 3C, the vectors \vec{V}_1 and \vec{V}_2 were determined from the coordinates of P_1 , P_2 and P_3 , and with Equation 1 the internal angle θ_1 was calculated for point P_1 of the garlic clove's edge. This operation was repeated for each pixel on the edge and a set of angles associated to the pixels of the edge was obtained.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{V}_1 \cdot \vec{V}_2}{|\vec{V}_1| |\vec{V}_2|} \quad (1)$$

where θ is the internal angle formed between vectors \vec{V}_1 and \vec{V}_2 .

The last step of the algorithm was to indicate the localization of P found for the apex, as well as a brief message about reorienting the apex or not. Figure 4 summarizes the algorithm to locate and decide on the reorientation of the garlic's apex.

When concluding the algorithm, the results from localization of the apex and the reorientation message were reviewed visually. The response variable of Detection of the Apex (DA) acquired a value of 1 for the cases where the algorithm located the garlic's apex and made the decision of rotating it correctly, and 0 otherwise. The factors implicated in the DA analysis were size (TA), position (PO) and the MED. Since the DA variable

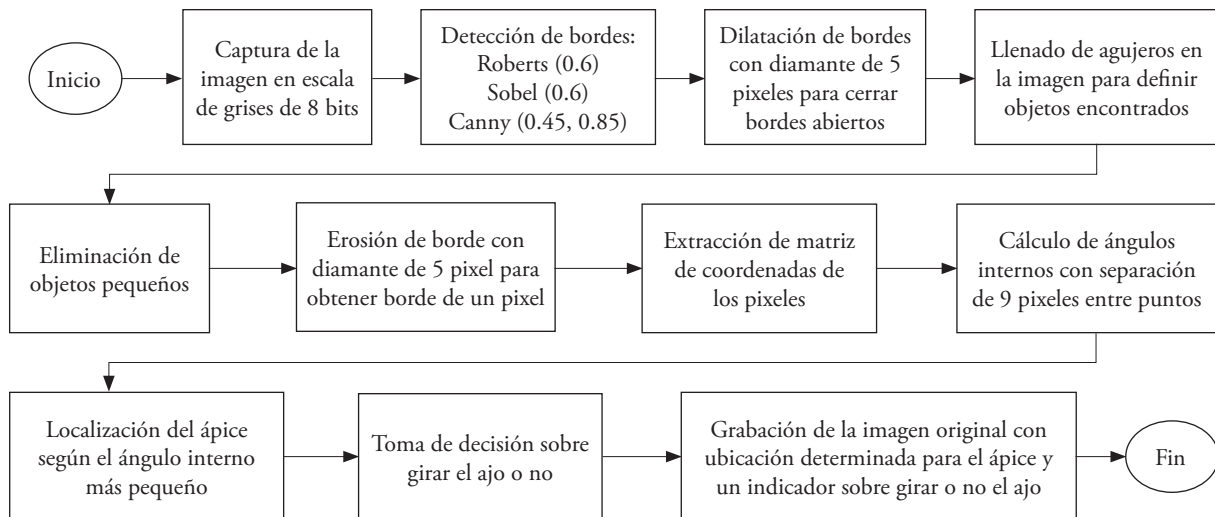


Figura 4. Secuencia de pasos realizados por el algoritmo en MATLAB.
 Figure 4. Sequence of steps performed by the algorithm in MATLAB.

cada tamaño con cinco ajos cada uno, de los cuales se calcularon las proporciones de aciertos de detección del ápice, dando como resultado tres repeticiones. La nueva variable DAT expresada en porcentaje no cumplió los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianza entre los niveles de cada factor (prueba de Levene), por lo cual se aplicaron las pruebas no paramétricas H de Kruskal-Wallis para TA y MDB y U de Mann-Whitney para PO, utilizando StatGraphics Plus V5.1 STSC and Statistical Graphics Corporation (Bekersville, Maryland, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En 83.3 % de las 360 imágenes de bordes de ajo se identificó correctamente el ápice con base en el valor mínimo del ángulo interno. Para la posición frontal, el ápice se detectó correctamente en 80 % de los casos, y para la posición lateral fue 86.7 %. Para el factor tamaño los porcentajes de aciertos fueron: 85 %, 80 %, 86.5 % y 81.5 % para chico, mediano grande y jumbo respectivamente. Con respecto a los MDB, las proporciones de aciertos fueron 91.25 % para Canny, 81.25 % para Sobel y 77.5 % para Roberts. La Figura 5 muestra el gráfico de los promedios de la proporción de aciertos que contrasta TA contra PO, donde destaca el mayor porcentaje de aciertos para el ajo grande en la posición lateral (93 %), seguido del ajo chico en la misma posición. Para la posición frontal el tamaño del ajo no generó diferencia entre los porcentajes de aciertos.

En la vista lateral, el ajo chico (Figura 6A) y grande (Figura 6C) exhiben una diferencia marcada en la curvatura del borde para base y ápice, mientras que algunos ajos medianos muestran ángulos agudos muy similares para base y ápice (Figura 6B), y los ajos jumbo presentan un borde semicircular en base y ápice (Figura 6D). Lo anterior explica el porcentaje mayor de acierto en la identificación del ápice para ajo chico y grande.

La Figura 7 es el gráfico comparativo de los promedios de porcentaje de aciertos entre MDB y PO, y Canny tuvo el mayor porcentaje de aciertos para ambas posiciones, seguido de Sobel y después Roberts. El menor porcentaje de aciertos se obtuvo en la posición frontal de los ajos para los tres MDB, lo cual pudiera deberse a que la forma en punta del ápice queda más expuesta en la vista lateral que en la frontal.

had a dichotomous response, a variable was transformed in an interval scale (DAT), which is a particular type of scale where amplitude is divided into equidistant fractions, to measure the relative differences with regard to the points of the total scale. To create it, three sets of data were established for each size with five garlic cloves in each, of which the proportion of correct detections of the apex were calculated, giving as a result three repetitions. The new DAT variable expressed in the percentage did not fulfill the assumptions of normalcy (Shapiro-Wilks test) and homogeneity of variance between the levels of each factor (Levene test), which is why the non-parametrical tests H of Kruskal-Wallis for TA and MED and U of Mann-Whitney for PO, were used, using StatGraphics Plus V5.1 STSC and Statistical Graphics Corporation (Bekersville, Maryland, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

In 83.3 % of the 360 images of garlic edges, the apex was identified correctly based on the minimum value of the internal angle. For the frontal position, the apex was detected correctly in 80 % of the cases, and for the lateral position it was 86.7 %. For the size factor, the percentages of correct responses were: 85 %, 80 %, 86.5 % and 81.5 % for small, medium, large and jumbo, respectively. With regard to the MEDs, the proportions of correct responses were 91.25 % for Canny, 81.25 % for Sobel and 77.5 % for Roberts. Figure 5 shows the graph of the averages of proportion of correct responses that contrasts TA

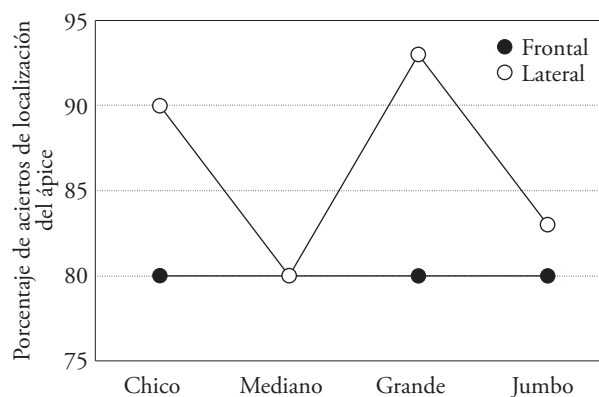


Figura 5. Promedios de proporción de aciertos de localización del ápice del ajo para la combinación de factores Posición y Tamaño.

Figure 5. Averages of proportion of correct responses for localization of the garlic apex for the combination of factors Position and Size.

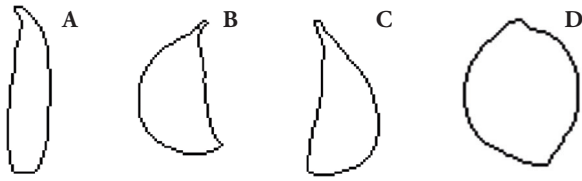


Figura 6. Bordes detectados en ajo: A) Chico; B) mediano; C) Grande; D) Jumbo.
Figure 6. Garlic edges detected: A) Small; B) Medium; C) Large; D) Jumbo.

Canny obtuvo los mayores porcentajes de aciertos (95 %) para los tamaños chico, mediano y grande, excepto para jumbo (Figura 8). La mayor diferencia entre los porcentajes de aciertos para los tres MDB se observó en el ajo mediano, pues Roberts obtuvo el menor porcentaje de aciertos (65 %). Roberts presentó mayor sensibilidad al ruido que los otros MDB, y el menor porcentaje de aciertos para los tamaños chico, mediano y grande, excepto en el tamaño jumbo donde obtuvo mayor porcentaje de aciertos.

En las Figuras 9 y 10 se observan los pasos de detección del borde de ajo jumbo en posición lateral usando Roberts y Canny como MDB, respectivamente. El proceso de limpieza de la imagen para detectar el borde del ajo consistió en la dilatación del borde (Figuras 9C y 10B), el llenado de hoyos (Figuras 9D y 10C), y erosión y extracción del borde final (Figuras 9E y 10D). Canny obtuvo un borde definido y sin ruido (Figura 10A), mientras que Roberts fue más sensible al ruido (Figura 9B). Algunos

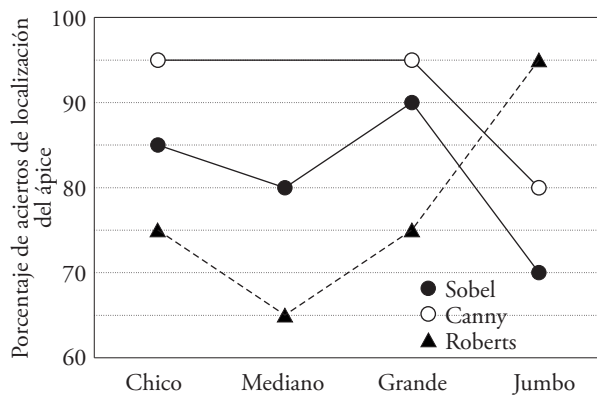


Figura 8. Promedios de proporción de aciertos para la combinación de factores Métodos de Detección de Bordes y Tamaño del ajo.

Figure 8. Averages of proportion of correct responses for the combination of factors Methods for Edge Detection and Garlic Size.

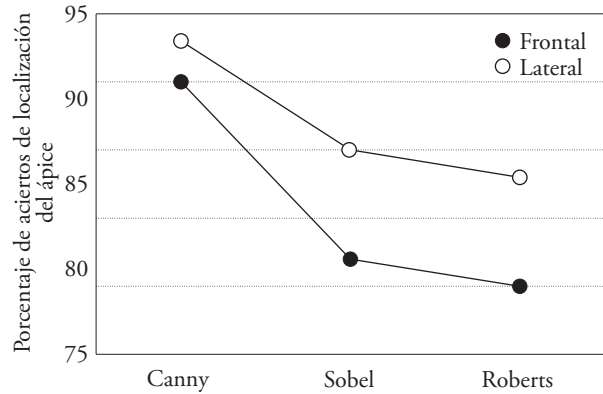


Figura 7. Promedios de proporción de aciertos de localización del ápice del ajo para la combinación de factores Métodos de Detección de Bordes y Posición.

Figure 7. Averages of proportion of correct responses for localization of the garlic apex for the combination of factors Methods for Edge Detection and Position.

against PO, where the higher percentage of correct responses for large garlic in the lateral position stands out (93 %), followed by small garlic in this same position. For the frontal position, the size of the garlic did not make a difference in the percentages of correct responses.

In the lateral view, small (Figure 6A) and large (Figure 6C) garlics exhibit a marked difference in the curvature of the edge for the base and apex, whereas some medium garlics show very similar acute angles for the base and apex (Figure 6B), and the jumbo garlics present a semi-circular edge in base and apex (Figure 6D). This explains the higher percentage of correct responses in the identification of the apex for small and large garlic.

Figure 7 is the comparative graph of the average of percentages of correct responses between MED and PO, and Canny had the highest percentage of correct responses for both positions, followed by Sobel and then Roberts. The lowest percentage of correct responses was obtained in the frontal position of the garlics for the three MEDs, which could be because the pointed shape of the apex is more exposed in the lateral view than in the frontal.

Canny had the highest percentages of correct responses (95 %) for the small, medium and large sizes, except for jumbo (Figure 8). The greatest difference between the percentages of correct responses for the three MEDs was observed in medium garlic, since Roberts obtained the least

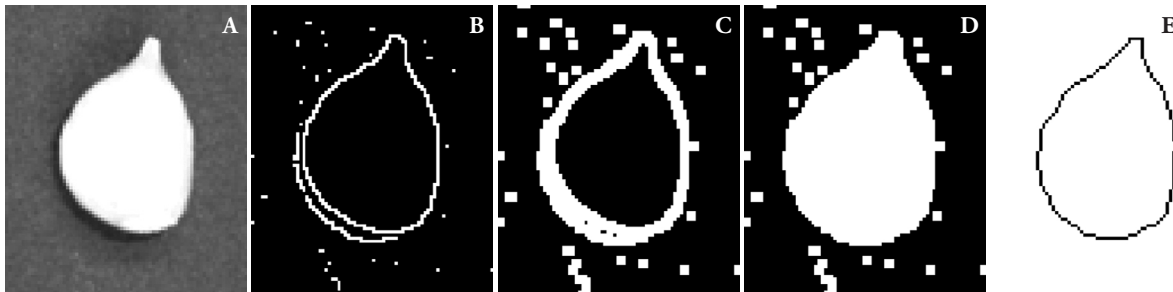


Figura 9. A) Imagen de un diente de ajo; B) detección del borde por Roberts; C) dilatación del borde; D) llenado de hoyos; E) erosión y extracción final de borde.

Figure 9. A) Image of a clove of garlic; B) detection of the edge by Roberts; C) dilation of the edge; D) filling of holes; E) final erosion and extraction of the edge.

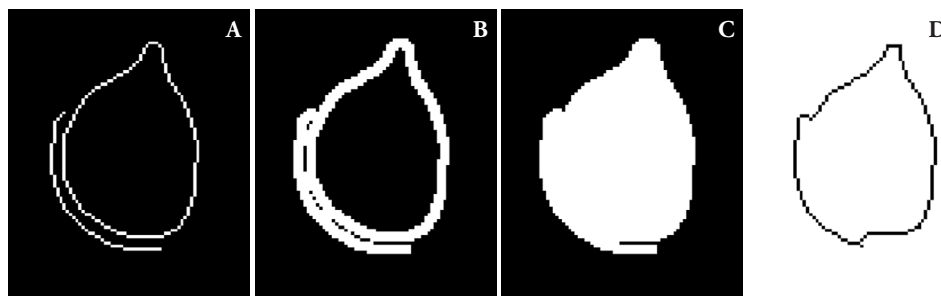


Figura 10. A) Detección del borde por Canny; B) dilatación del borde; C) llenado de hoyos; D) erosión y extracción final de borde.

Figure 10. A) Detection of the edge by Canny; B) dilation of the edge; C) filling of holes; D) final erosion and extraction of the edge.

ajos jumbo en ambas posiciones generaron sombra, la cual fue detectada por los tres MDB generando una línea cercana al borde del ajo, y como resultado del resto del proceso, la línea fue incorporada al borde del ajo. Canny y Sobel generaron una línea más alejada del borde que Roberts, lo cual modificó la curvatura del borde al integrar la línea (Figura 10D). Para Roberts, la línea se integró al borde aumentando el tamaño sin cambiar su curvatura (Figura 9E). Una lámpara adicional podría eliminar las sombras y mejorar los resultados obtenidos por Canny y Sobel. Palomares *et al.* (2005) presentaron un MDB basado en Canny y el paradigma de Procesamiento Logarítmico de Imagen (LIP, por sus siglas en inglés), logrando que la iluminación no homogénea en una imagen no afectara la identificación de bordes, lo cual es otra alternativa para este estudio.

Canny fue el MDB que permitió obtener el mayor número de aciertos (91.25 %), seguido de Sobel y después Roberts. En un estudio similar, Chi y Hui (2013) reportan 94 %, 97 % y 92 % de aciertos en

percentage of correct responses (65 %). Roberts presented higher sensitivity to noise than the other MEDs, and the lowest percentage of correct responses for the small, medium and large sizes, except in the jumbo size where it obtained a higher percentage of correct responses.

In Figures 9 and 10, the steps for detection of the jumbo garlic edge were observed in the lateral position using Roberts and Canny as MED, respectively. The process of cleaning the image to detect the edge of the garlic consisted in the dilation of the edge (Figures 9C and 10B), the filling of holes (Figures 9D and 10C), and the erosion and extraction of the final edge (Figures 9E and 10D). Canny obtained a definite edge and without noise (Figure 10A), while Roberts was more sensitive to noise (Figure 9B). Some jumbo garlics in both positions generated a shadow, which was detected by the three MEDs generating a line close to the edge of the garlic, and as a result of the rest of the process, the line was incorporated to the edge of

la identificación del ápice para ajo mediano, grande y jumbo, respectivamente. Lo anterior fue muy cercano a lo logrado por Canny en nuestro estudio para ajo mediano y grande (95 %), excepto para ajo jumbo. En otros estudios se comparan diversos MDB para otras aplicaciones (Bin y Samiei, 2012; Sachin *et al.*, 2011; Shrivakshan y Chandrasekar, 2012; Akram y Ismail, 2013) con resultados que permiten concluir un mejor desempeño de Canny.

En el Cuadro 1 se presentan las pruebas no paramétricas aplicadas a DAT para los factores en estudio. El valor del estadístico de prueba U de Mann-Whitney no mostró diferencias significativas ($p > 0.10$) para PO; lo mismo para TA, H de Kruskal-Wallis y las cuatro medianas fueron similares; y para MDB, H de Kruskal-Wallis permitió concluir que al menos una mediana es diferente ($p \leq 0.10$). En este último caso se realizó la prueba de DMS ($p \leq 0.10$) sobre los promedios de los rangos asignados por la prueba de Kruskal-Wallis y se detectaron dos grupos estadísticos: el método Canny (grupo A) con mayor porcentaje de aciertos en la detección del ápice, seguido de los métodos Sobel y Roberts (grupo B).

En resumen, los promedios de porcentajes de aciertos para la identificación del ápice cuando fueron comparados para PO y TA del ajo, no presentaron diferencia estadística significativa sobre la detección del ápice. Esto es deseable pues el ajo no requerirá selección previa y se podrá alimentar en posición aleatoria con poca influencia en la correcta ubicación y reorientación del ápice.

CONCLUSIONES

La técnica de Canny obtuvo el mayor porcentaje de aciertos en la detección del ápice superando a los métodos de Sobel y Roberts, sin influencia del tamaño y la posición del ajo de acuerdo con las pruebas de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney. Sin embargo, Roberts obtuvo el porcentaje más alto de aciertos para el tamaño jumbo, pues la sombra del ajo jumbo se integró al borde sin alterar su curvatura, lo cual ocurrió con Canny y Sobel. La vista lateral de ajos chicos y grandes obtuvieron el mayor porcentaje de aciertos en la detección del ápice.

El alto porcentaje de aciertos en la localización del ápice logrado con Canny, sugiere la implementación del algoritmo propuesto en un sistema automático de reorientación del ápice, el cual requerirá demostrar su

the garlic. Canny and Sobel generated a line more distant from the edge than Roberts, which modified the curvature of the edge when integrating the line (Figure 10D). For Roberts, the line was integrated to the edge by increasing the size without changing its curvature (Figure 9E). An additional lamp could eliminate the shadows and improve the results obtained by Canny and Sobel. Palomares *et al.* (2005) presented a MED based on Canny and the paradigm of Logarithmic Image Processing (LIP), managing for non-homogeneous illumination in an image not to affect the identification of the edges, which is another alternative for this study.

Canny was the MED that allowed obtaining the highest number of correct responses (91.25 %), followed by Sobel and then Roberts. In a similar study, Chi and Hui (2013) report 94 %, 97 % and 92 % of correct responses in the identification of the apex for medium, large and jumbo garlic, respectively. This was quite close to what was achieved by Canny in our study for the medium and large garlic (95 %), except for jumbo garlic. In other studies various MEDs were compared for other applications (Bin and Samiei, 2012; Sachin *et al.*, 2011; Shrivakshan and Chandrasekar, 2012; Akram and Ismail, 2013), with results that allow concluding a better performance than Canny.

In Table 1, the non-parametric tests applied to DAT for the factors in study are presented. The value of the Mann-Whitney statistical U test did not show significant differences ($p > 0.10$) for PO; the same for TA, H of Kruskal-Wallis and the four medians were similar; and for MED, H of Kruskal-Wallis allowed concluding that at least one median is different ($p \leq 0.10$). In this last case the DMS test ($p \leq 0.10$) was performed on the averages of the

Cuadro 1. Estadísticos aplicados a DAT. H de Kruskal-Wallis para TA y MDB, y U de Mann-Whitney para PO. Table 1. Statistics applied to DAT. H of Kruskal-Wallis for TA and MED, and U of Mann-Whitney for PO.

| Variables | Estadístico de prueba | Probabilidad (valor de p) |
|-----------|-----------------------|---------------------------|
| MDB | H=4.982 | 0.083 † |
| PO | U=1.007 | 0.314 ‡ |
| TA | H=1.275 | 0.735 ‡ |

†Valor significativo ($p \leq 0.10$). ‡Valor no significativo ($p > 0.10$)

‡Significant value ($p \leq 0.10$). †Not significant value ($p > 0.10$).

funcionamiento en condiciones de trabajo en campo. El algoritmo presentó sensibilidad a la uniformidad de iluminación, lo cual se observó en los resultados obtenidos por Canny para ajo jumbo, por lo cual se requiere un estudio detallado de la iluminación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato por el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Alcañiz R., M., V. Grau C., J. Lizandra, M. Aranda, J. Navarro, y E. Moltó G. 1999. Procesamiento Digital de Imagen. Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia. España. pp: 108-109.
- Akram, A., and A. Ismail. 2013. Comparison of edge detectors. *Int. J. Comp. Sci. Information Technol. Res.* 1: 16-24.
- Bakhtiari, M. R., and M. Loghavi. 2009. Development and evaluation of an innovative garlic clove precision planter. *J. Agric. Sci. Technol.* 11: 125-136.
- Bin, L., and M. Samiei. 2012. Comparison for image edge detection algorithms. *IOSR J. Comp. Eng.* 2: 1-4.
- Cabrera S. J. M., y R. Serwatowski. 1996. Diseño de una sembradora neumática para ajo. *In: Memoria del II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola.* Bauru, SP. Brasil. (Edición en CD, clave MCA518). pp: 1-9.
- Calderón R., E., R. Serwatowski H., J. M. Cabrera S., y C. Gracia L. 2003. Siembra mecanizada del ajo: métodos y equipos. *Agrociencia* 37: 483-493.
- Canny, J. F. 1986. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intell.* 8: 679-698.
- Castellanos, J. Z., P. Vargas-Tapia, J. L. Ojodeagua, and G. Hoyos. 2004. Garlic productivity and profitability as affected by seed clove size. *HortScience* 39 (6): 1272-1277.
- Chengqian, J., Y. Wensheng, W. Chongyou, and Z. Min. 2008. Experimental study on effects of the bulbil direction on garlic growth. *Trans. Chinese Soc. Agric. Eng.* 4: 155-158.
- Chi, G., and G. Hui. 2013. Direction identification system of garlic clove based on machine vision. *ELKOMNIKA Indonesian J. Electr. Eng.* 11(5): 2323-2329.
- Palomares, J. M., J. González, y E. Ros. 2005. Detección de bordes en imágenes con sombras mediante LIP-Canny. *In: Memoria del Simposio de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imágenes del I Congreso Nacional de Informática.* Granada, España. pp: 71-76.
- Pérez M., L., J. Navarro L., B. Mendoza C., y R. Ramírez M. 2010. Evaluación del rendimiento de compuestos de ajo tipo Taiwán. *Rev. Acta Univ.* 20: 63-69.
- Reveles H., M., R. Velásquez V., M. D. Alvarado N., y S. Rubio D. 2011. "CEZAC 06": nueva variedad de ajo tipo Jaspeado para la región norte centro de México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 2(4): 601-606.

ranges assigned by the Kruskal-Wallis test and two statistical groups were detected: the Canny method (group A) with a higher percentage of correct responses in the apex detection, followed by the Sobel and Roberts methods (group B).

In sum, the averages of percentages of correct responses for the identification of the apex did not show significant statistical difference over the detection of the apex, when compared for the garlic PO and TA. This is desirable because garlic will not require prior selection and could feed in a random position with small influence on the correct placement and reorientation of the apex.

CONCLUSIONS

The Canny technique obtained the highest percentage of correct responses in the apex detection, outperforming the Sobel and Roberts methods, without influence from the size and position of the garlic according to the Kruskal-Wallis and U of Mann-Whitney tests. However, Roberts obtained the highest percentage of correct responses for the jumbo size, since the shadow of the jumbo garlic was integrated to the edge without altering its curvature, which happened with Canny and Sobel. The lateral view of small and large garlics obtained the highest percentage of correct responses in the apex detection.

The high percentage of correct responses in the localization of the apex achieved with Canny suggests the implementation of the algorithm proposed in an automatic system for reorientation of the apex, which will require demonstrating its functioning under field work conditions. The algorithm presented sensitivity to uniformity in illumination, which was observed in the results obtained by Canny for jumbo garlic, so a detailed study of the illumination will be necessary.

—End of the English version—



- Reveles H., M., R. Velásquez V., y A. G. Bravo L. 2009. Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. *Boletín técnico* no. 11. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación regional Norte-Centro. Campo experimental Zacatecas. pp: 26-32.

- Roberts, L. G., 1965. Machine Perception of 3D solids, *In: Optical and Electro-Optical Information Processing*. MIT Pres. pp: 159-197.
- Sachin G., B, S. Jivan Y. and S. Aishwari P. 2011. Comparison of SUSAN and Sobel edge detection in MRI images for feature extraction. *Int. J. Comp. Appl.* 2: 23-27.
- Shrivakshan G. T., and C. Chandrasekar. 2012. A comparison of various edge detection techniques used in image processing. *Int. J. Comp. Sci. Issues* 9: 269-276.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/>. (Consulta: Septiembre 2014).
- Sobel, I. 1990. An Isotropic 3×3 Gradient Operator. *Machine Vision for Three – Dimensional Scenes*. Freeman, H. (ed). Academic Pres. New York. pp: 376-379.
- Tavakoli, M., and M. Najafzadeh. 2015. Application of the image processing technique for separating sprouted potatoes in the sorting line. *J. Appl. Environ. Biol. Science.* 4: 223-227.