

# DETECCIÓN DEL ÁPICE DEL AJO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

Raya González Luis Enrique (1), Saldaña Robles Adriana (2), Gutiérrez Vaca César (2), Saldaña Robles Alberto (2), Flores Ortega Adrián (2), Saldaña Robles Noé (2)

1 Licenciatura en ingeniería mecánica agrícola, Universidad de Guanajuato. luiseltemplas\_1993@hotmail.com

2 Departamento de ingeniería mecánica agrícola, División de ciencias de la vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. saldanar@ugt5o.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 diseñar y construir un sistema de visión artificial que permita la detección del ápice en los dientes de ajo. El sistema de visión artificial constó de 3 elementos, cámara, fuente de iluminación y algoritmo. El diseño de experimentos con el cual se evaluó el sistema de visión artificial se basó en un arreglo de diseño factorial  $2^2$  (dos algoritmos y dos intensidades de luz) con 3 réplicas de 100 ajos cada una (1200 imágenes = 2 factores X 2 niveles X 3 repeticiones X 100 ajos) obteniendo un porcentaje de aciertos del 97.33%, esto al utilizar una intensidad de iluminación de 3700 luxes. Lo logrado en esta investigación supera el porcentaje de aciertos de los trabajos anteriores teniendo una diferencia de 6.08% comparado con Saldaña et al (2016) y 0.33% con respecto a Chi y Hui (2013).

## Abstract

Sowing and harvesting are the most costly operations in the garlic production (*Allium sativum* L.), because they are done 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 aim of this study was to design and build a machine vision system which allows detection of the apex in the garlic cloves. The artificial vision system consisted of three elements, camera, lighting source and algorithm. The design of experiments with which the machine vision system was evaluated consisted of an array of  $2^2$  factorial design (two algorithms and two light intensities) with 3 replicates of 100 garlic cloves each one (1200 images = 2 factors X 2 level X 100 X 3 replicates garlic) obtaining a percentage of successes of 97.33%, when using a light intensity of 3700 lux. What has been achieved in this research exceeds the percentage of successes of previous work having a difference of 6.08% compared with Saldana et al (2016) and 0.33% over and Hui Chi (2013).

## 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 [1]. Los principales estados productores de ajo en México son Zacatecas, Guanajuato y Baja California con una superficie sembrada mayor a 5000 ha [2]. 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 desarrollo de la planta [3]. La semilla colocada con el ápice al azar tiene un impacto negativo con el rendimiento [4]. Las sembradoras mecánicas o neumáticas reducen el tiempo de siembra en 3 a 1 [3], pero reducen hasta 23 % el rendimiento [5], respecto a la siembra manual de ajo. En reciente estudio [6] 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. En otro trabajo [7], se desarrolló un algoritmo que detecta el ápice del ajo basándose en la hipótesis de que el ápice del ajo coincide con el ángulo más pequeño en el interior de su borde perimetral. Este algoritmo consta 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. En algunos prototipos de sembradora neumática de ajo [8], 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 este estudio fue diseñar y construir un sistema de visión artificial que permita la detección del ápice en los dientes de ajo logrando un 97 % de aciertos o más.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de visión artificial desarrollado consta de 3 elementos: cámara, fuente de iluminación y algoritmo.

La cámara empleada en la presente investigación es una cámara de video C170 (Logitech inc., USA), con una resolución de 1.3 Megapíxeles y 30 cuadros por segundo. Se eligió este tipo de cámara, ya que para el fin en el cual se utilizará, es tomar una imagen, de la cual se puedan obtener análisis de la geometría del ajo, además de que el costo de ésta es bajo.

La iluminación del prototipo está a cargo de un arreglo de LED (Light Emitter Diodes, Galaxy Brand, China) de tipo smd 3528 (Surface Mounted Dispositivo). Se eligió este tipo de fuente de iluminación, ya que estos LED son capaces de producir luz en el rango de los 350 a los 750 nm, con facilidad de uniformizar la intensidad luminosa que llega a una superficie, y que además es totalmente compatible con el rango de longitud de onda de la luz, que es capaz de registrar el tipo de sensor que forma la matriz de detectores de la cámara de video, los cuales trabajan en un rango de 380 a 810 nm. La técnica de iluminación que se eligió en la presente investigación es la llamada iluminación de fondo. Al emplear esta técnica, es necesario que el material que se utiliza para soportar el objeto a estudiar sea traslucido, por lo cual se decidió utilizar una placa de acrílico de 2 mm de grosor en donde deberá colocarse el diente de ajo para su análisis.

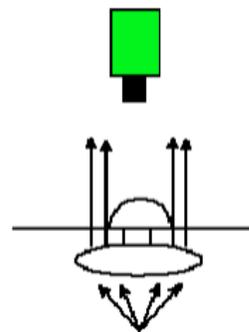


IMAGEN 1. Sistema de iluminación empleado en el sistema de visión artificial (Iluminación de fondo).

En esta investigación se utilizaron dos algoritmos uno es en esencia el descrito por Saldaña *et al.* (2016) empleando el método detector de bordes Canny, pues fue el que facilitó el mayor porcentaje de aciertos, al localizar el ápice del ajo. El otro algoritmo fue desarrollado en MATLAB® 2014a instalado en una computadora portátil (AMD A10-8700P®, Radeon R6® CPU 1.80 GHz y 12.00 GB de RAM.). Éste parte de la hipótesis de que el punto más alejado del centro geométrico del borde del ajo corresponde al ápice (imagen 2). La secuencia de pasos del algoritmo, es la siguiente: 1) Captura de la imagen en escala de grises de 8 bits; 2) detección de bordes mediante el método de detección de bordes Canny (0.45, 0.85); 3) dilatación de bordes con diamante de 5 píxeles para cerrar bordes abiertos; 4) llenado de agujeros en la imagen para definir objetos encontrados; 5) eliminación de objetos pequeños; 6) erosión de borde con diamante de 5 píxel para obtener borde de un píxel de espesor; 7) extracción de matriz de coordenadas de los píxeles que forman el borde; 8) cálculo del área del borde detectado; determinación del centro de área de forma geométrica del ajo en la imagen digital; 9) cálculo de las distancias entre el centro de área y los píxeles perimetrales, 10) Identificación del ápice en píxel del borde más alejado del centro de área; 11) registro de la imagen digital original del ajo con ubicación identificada mediante marca para el supuesto ápice y un indicador sobre girar o no el ajo y 12) toma de decisión sobre girar el ajo o no.

Además de los algoritmos estudiados, se consideró importante observar el efecto de la intensidad luminosa de fondo, pues una intensidad de iluminación baja o muy alta puede dificultar la detección correcta del borde del ajo, además de representar un mayor consumo de energía y menor vida útil de los LED. Para el experimento se trabajó con 3200 y 3700 luxes, el primer valor permite visualmente generar la silueta del ajo, pues menos iluminación genera poca diferencia entre el fondo de acrílico y el ajo; e segundo valor es la máxima intensidad luminosa de los LED.

El cálculo del área del borde se realizó mediante la ecuación:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

A - Área del objeto.

X - Abscisa de un punto en el borde del ajo.

Y - Ordenada de un punto en el borde del ajo.

Para localizar las coordenadas del centroide geométrico se emplearon las ecuaciones siguientes:

$$c_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$c_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

Cx – Abscisa del centroide.

Cy – Ordenada del centroide.

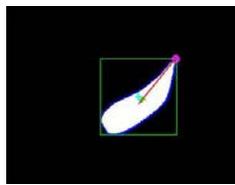


IMAGEN 2: Localización correcta del diente de ajo con marca violeta, mediante algoritmo desarrollado

El diseño de experimentos con el cual se evaluó el sistema de visión artificial se basó en un arreglo de diseño factorial  $2^2$  (dos algoritmos y dos intensidades de luz) con 3 réplicas para 100 ajos en cada replica (1200 imágenes = 2 factores X 2 niveles X 3 repeticiones X 100 ajos).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La técnica de iluminación utilizada en la presente investigación eliminó la posibilidad de sombras que aparecen en la imagen digital cuando se ilumina directamente al objeto, lo cual es muy favorable, pues fue lo que dificultó la localización del ápice en un estudio anterior [7].



IMAGEN 3: Imagen de diente de ajo capturada en escala de grises de 8 bits, con la técnica de iluminación de fondo.

Los resultados obtenidos en la prueba se muestran en la tabla 1. Los porcentajes de aciertos más altos se lograron con la mayor intensidad de iluminación y el algoritmo basado en el centro de área.

	Algoritmo de detección del ápice (Porcentaje de aciertos)						
	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		
	C.A.	Amin	C.A.	Amin	C.A.	Amin	
I.I. (luxes)	3200	94	87	96	85	96	86
	3700	97	89	97	88	98	88

I.I. → Intensidad luminosa (luxes).  
C.A. Algoritmo basado en el centro de área.  
Amin → Algoritmo basado en ángulo mínimo.

Se realizó una prueba de normalidad con el test de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad del conjunto de datos obtenido en la prueba de localización del ápice del ajo. Los resultados de la prueba de normalidad mostraron que debido a que el valor P fue mayor que 0.05, se consideró que el conjunto de datos, podía ser adecuadamente modelado con una distribución normal con un nivel de confianza del 95%. Por lo que, para el factorial 2<sup>2</sup> diseñado, se realizó un ANOVA en el cual se evaluaron los dos algoritmos descritos y dos intensidades de iluminación. El ANOVA (Imagen 4) realizado al conjunto de datos obtenido de los experimentos con el ajo, mostró que algoritmo y intensidad de iluminación son diferentes de manera significativa, con un nivel de confianza del 95%. El factor de mayor influencia,

de acuerdo con el diagrama de Pareto, fue el algoritmo empleado (imagen 4). El Algoritmo desarrollado en el presente estudio logró un 97.33% de aciertos al localizar el ápice en contraste con el algoritmo del ángulo interno mínimo que obtuvo 88.33%, valor menor al 90.25% reportado en el estudio previo [7]. Cabe destacar que la técnica de iluminación para el método de ángulo mínimo en este trabajo difiere de la empleada en [7].

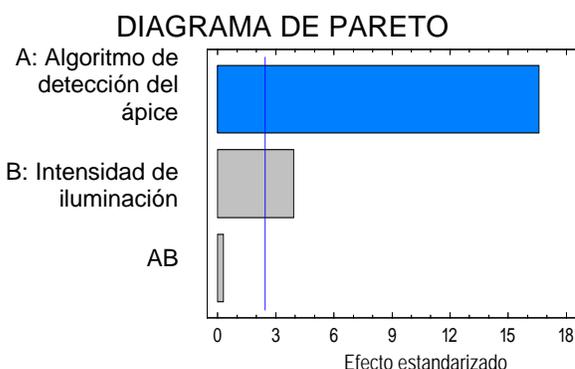


IMAGEN 4: Diagrama de Pareto de los factores estudiados en la detección del ápice.

## CONCLUSIONES

Se diseñó un algoritmo para la detección del ápice del ajo el cual obtuvo un porcentaje de aciertos del 97.33% esto al utilizar una intensidad de iluminación de 3700 luxes. Se comparó el porcentaje de aciertos de éste algoritmo con el desarrollado por Saldaña *et al* (2016) obteniendo que el algoritmo desarrollado presenta mayor porcentaje de aciertos.

Se diseñó un sistema de visión artificial en el cual la iluminación del prototipo está a cargo de un arreglo de LEDs (Light Emitter Diodes) de tipo smd (Surface Mounted Dispositive) la técnica de iluminación que se utilizó es la llamada iluminación de fondo esta ayudo a eliminar sombras en la imagen.

## REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] 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).
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] Saldaña, R., R. Serwatowski H., Aguilera, R., Saldaña, R., Martínez J. y Gutiérrez, C. (2016). Localización del ápice del ajo mediante técnicas de análisis digital de imagen, *Agrociencia* 2016, 50 (2). Recuperado desde: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2016/feb-mar/art-6.pdf>
- [8] 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.