

Extracción de variables mediante la técnica SIFT para la identificación de plántulas de papaya de tipo hermafrodita

Jorge Ochoa Somuano^{1*}, Francisco Ruiz Ruiz², Julieta Cruz Vázquez² & Verónica Ortega Baranda³

Resumen

La extracción de variables para la detección e identificación de objetos a través de imágenes ha tomado gran relevancia en el procesamiento digital, su principal aplicación se relaciona con la clasificación de objetos. No obstante, en la literatura especializada no se encuentran trabajos sobre el uso de un procesamiento digital de imágenes que permita detectar el sexo en plántulas de papaya. El presente trabajo muestra un avance sobre la utilidad de la extracción de variables en la identificación de plántulas de papaya de tipo hermafrodita utilizado la técnica Scale Invariant Feature Transform (SIFT), una de las técnicas más utilizadas en investigaciones relacionadas principalmente, con la identificación de enfermedades en plantas. Se realizaron pruebas para la recuperación de imágenes tomando en cuenta las variables encontradas y los resultados fueron totalmente satisfactorios. Finalmente, se concluyó que tanto la extracción de variables con la técnica SIFT como la cantidad de variables obtenidas a partir de las imágenes de prueba son adecuadas para realizar un proceso de clasificación.

Palabras clave: Extracción de variables, clasificación, sexado en plántulas, puntos característicos.

Abstract

The feature extraction for detection and identification of objects in images has taken big relevance in the image digital processing for its application in the object classification. In the specialized literature, no studies have been found on the digital processing of images that allows the papaya seedlings sex determination. In this paper we present the development over the feature extraction for the identification of papaya seedlings of hermaphrodite type. To carry out the process of feature extraction the technique Scale Invariant Feature Transform (SIFT) was used, one of the most used techniques as reported in the specialized literature, with research in which works are carried out mainly related to the identification of diseases in plants. We performed tests for the image recovery taking into account the features found and the results were totally satisfactory. Finally, we conclude that both the feature extraction with the SIFT technique and the amount of variables obtained from the test images are adequate to carry out a classification process.

Key words: Feature extraction, classification, papaya seedlings sex determination, characteristic point.

¹Instituto de Industrias, Universidad del Mar

²Instituto de Genética, Universidad del Mar

³Instituto de Ecología, Universidad del Mar campus Puerto Escondido. Km 1.5 Carretera Puerto Escondido-Sola de Vega. San Pedro Mixtepec, CP. 71980, Juquila, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: ochoa@zicatela.umar.mx

Introducción

Con el objetivo de aumentar la producción de papaya y con ello obtener mayores ganancias, los productores de este fruto deben realizar un proceso de sexado de las plantas a los tres meses de edad con el objetivo de preservar sólo aquéllas que sean hermafroditas, desechando las que presentan estructuras femeninas y masculinas. Un inconveniente importante de esta forma de sexado es que se debe hacer una fuerte inversión económica en las diferentes etapas del proceso de producción, como compra de insumos, semillas o plantas, pago de las actividades de manejo, electricidad y agua; y esta inversión se aplica tanto a las plantas que resulten finalmente útiles como a las que deban ser desechadas.

Ruiz-Ruiz *et al.* (2017) presentaron un trabajo sobre la única forma, a la fecha, que se conoce sobre el sexado de las plántulas de papaya. Los autores realizaron el proceso de identificación del sexo a nivel molecular, haciendo uso de extracción de DNA (Deoxyribonucleic Acid) y utilizando la técnica PCR (Polymerase Chain Reaction, por sus siglas en inglés) para su identificación. Los resultados obtenidos cumplieron con un nivel de certeza del 100%.

A la fecha, se han publicado varias investigaciones relacionadas con el tema de este artículo. En ellas se realiza la identificación de patógenos o la cuantificación de lesiones en plantas mediante el procesamiento digital de imágenes. Entre estas publicaciones destaca el trabajo de De Coninck *et al.* (2012) quienes reportan el desarrollo de un software de análisis de imágenes para la cuantificación de lesiones necróticas en las diferentes etapas de la infección por *Cercospora beticola* en remolacha azucarera. Además, se desarrolló un ensayo de PCR en tiempo real para la cuantificación de biomasa del mismo patógeno en la misma planta. Con el uso de ambas técnicas, aún en etapas tempranas de la infección, se puede hacer una selección más precisa y eficiente de material de reproducción resistente. Los autores reportan que los resultados fueron exitosos.

Mediante la investigación de Kamath *et al.* (2005) se ha desarrollado un sistema de visión por computadora para apoyar a personas no expertas con la identificación de enfermedades en plantas. El sistema se basa en la selección de imágenes y una pequeña descripción textual, además se puede acceder a él de forma remota. El sistema se aplicó para la identificación de enfermedades en plantas de fresa, los autores reportan que los resultados obtenidos son adecuados y ayudan a los productores a identificar diversas enfermedades. El sistema no funciona de forma automática, es asistido por expertos que reciben la información vía remota y asisten al sistema para la toma de decisiones.

Barbedo *et al.* (2016) propusieron un método para la identificación automática de enfermedades en plantas basado en la transformación del color. El desempeño del método se probó con una base de datos que contiene imágenes con 82 diferentes síntomas correspondientes a enfermedades identificadas que afectan a las hojas de 12 especies de plantas. Las imágenes fueron capturadas con diferentes cámaras y dispositivos móviles con resoluciones de uno a 24 mega píxeles. Cerca del 15% de las imágenes se capturaron en condiciones controladas, las imágenes restantes se capturaron en condiciones reales.

Choudhry (2016) desarrolló un método automatizado para el recuento de colonias y células a partir de imágenes digitales. Debido a su naturaleza y al tiempo requerido, el conteo manual ha dificultado el uso de ensayos celulares. Con los resultados obtenidos en este estudio, los autores han llegado a la conclusión que el análisis de imágenes digitales por medio de la detección de bordes es superior a otros métodos en velocidad, precisión y aplicabilidad.

El objetivo del presente trabajo fue aportar un avance en la extracción de variables para la identificación de plántulas de papaya de tipo hermafrodita utilizando la técnica *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT).

Material y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó con una temporalidad de aproximadamente 7 meses durante el año 2016, en la Universidad del Mar campus Puerto Escondido, ubicada en Puerto Escondido, Oaxaca, México.

El sitio de donde se tomaron las muestras de plántulas de papaya se localiza en la localidad de San José Río Verde (La Boquilla), situada en el Municipio de Santiago Jamiltepec (Fig. 1).

Se utilizaron 55 plántulas de papaya con quince días de edad (Fig. 2), se procedió a realizar la toma de fotografías en la misma localidad en el mes de noviembre de 2016. Las plántulas fueron etiquetadas para su posterior identificación.

Tres meses después de la toma de fotografías se regresó al lugar de muestreo para

corroborar el sexo de cada una de las plántulas etiquetadas, realizado por un experto humano. La información recabada se utilizó para ubicar a cada una de las plántulas en alguna de las dos clases: Hermafrodita o No-hermafrodita, de las 55 muestras, 30 resultaron ser hermafroditas y 25 no-hermafroditas.

Para realizar el proceso de extracción de puntos característicos se realizaron las etapas que se muestran en la figura 3. Dichas etapas se aplican de forma secuencial a cada una de las imágenes pertenecientes a la base de imágenes utilizada para las diferentes pruebas.

Separación de la hoja y el fondo. Se capturaron imágenes de plántulas de papaya de 15 días de edad. Las imágenes son como la que se muestra en la figura 4.

El área que interesa procesar para realizar el sexado es la hoja de la plántula de papaya. Para eliminar el fondo de la imagen y con ello separar la hoja de la plántula de papaya, se

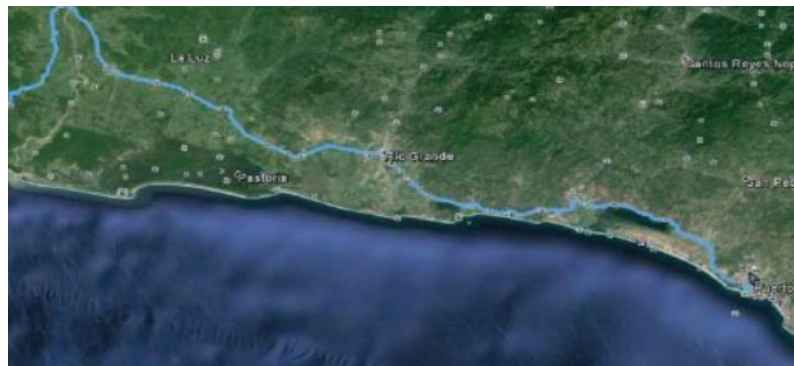


Figura 1. Trayecto de la Universidad del Mar campus Puerto Escondido a la localidad "Laguna el Espejo" ubicada en las inmediaciones de la Boquilla, Jamiltepec (Ruiz *et al.*, 2016).



Figura 2. Almácigo con plántulas de papaya de quince días de edad (Ruiz *et al.*, 2016).

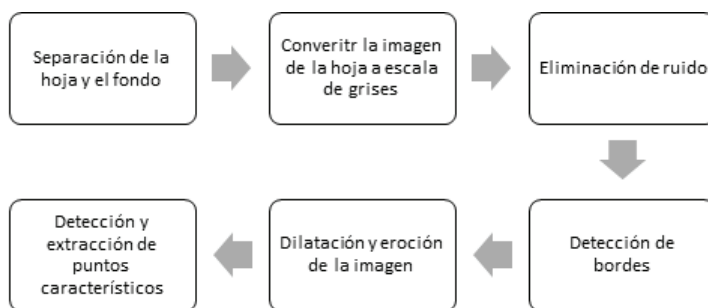


Figura 3. Etapas para la extracción de puntos característicos en plántulas de papaya.



Figura 4. Imagen de una plántula de papaya contenida en un almacigo donde fue plantada inicialmente.

realizó un proceso de forma manual en un editor de imágenes, como resultado se obtienen imágenes como la que se muestra en la figura 5.

Convertir la imagen de la hoja a escala de grises. El siguiente proceso es convertir la imagen de interés (Fig. 5) a escala de grises haciendo uso de la ecuación 1.

$$f(x,y) = \frac{r(x,y)+g(x,y)+b(x,y)}{3}$$

Donde:

$r(x, y)$ es el valor del pixel correspondiente al canal rojo en las coordenadas x, y de la imagen.

$g(x, y)$ es el valor del pixel correspondiente al canal verde en las coordenadas x, y de la imagen.

$b(x, y)$ es el valor del pixel correspondiente al canal azul en las coordenadas x, y de la imagen.

$f(x, y)$ es el nuevo valor en escala de grises, al tratarse de una imagen con tres canales de color, es necesario asignar a cada uno de los canales el mismo valor.

El resultado de aplicar la ecuación 1 a la imagen de la figura 5, se puede apreciar en la figura 6.

Eliminación de ruido. Dependiendo de las condiciones en las que se hayan tomado las



Figura 5. Hoja de la plántula de papaya mostrada en la figura 4, sin fondo.



Figura 6. Hoja de la plántula de papaya en escala de grises..

imágenes, éstas pueden tener ruido que podría llevar a un resultado no deseado, para evitar algún tipo de falso positivo originado por este tipo de características, se realiza un proceso para eliminar ruido en la imagen, aplicando la máscara mostrada en la figura 7.

Para aplicar la máscara mostrada en la figura 5 a la imagen de interés, se realiza lo siguiente: se toman los primeros pixeles de la imagen que correspondan a una matriz de 3 x 3. Se hace una multiplicación uno a uno, la máscara de la figura 7 con la matriz obtenida de la imagen de interés. Posteriormente se suman cada una de las multiplicaciones resultantes y finalmente se multiplican por 1/16. El resultado que se obtiene se asigna al pixel central que corresponda a la matriz que se utilizó de la imagen de interés. Después, se recorre la máscara un pixel a la derecha y se repite el proceso hasta llegar al extremo derecho de la imagen. Posteriormente, se inicia nuevamente el proceso en el extremo izquierdo de

la imagen pero esta vez se desplaza la máscara un pixel hacia abajo. Ambos procesos se repiten hasta que se llega a la parte extrema derecha inferior de la imagen que está siendo procesada. Finalmente se obtiene un resultado como el que se muestra en la figura 8.

Como se puede apreciar en la figura 8, la hoja de la plántula de papaya se ve ligeramente difuminada, resultado del proceso de quitar el ruido de la imagen.

Detección de bordes. El siguiente proceso es la detección de bordes, el propósito es

1	2	1
2	4	2
1	2	1

* 1 / 16

Figura 7. Máscara para eliminar ruido en una imagen digital.



Figura 8. Imagen de la figura 6 después de quitarle el ruido.

eliminar información que no será de utilidad en los procesos posteriores. De esa manera se mantienen líneas y contornos de la imagen, que son los que servirán para el proceso de extracción de características. Para realizar la detección de bordes se aplica el filtro de Sobel mostrado en la ecuación 2.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \quad G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

El proceso para aplicar el filtro de Sobel es similar al utilizado en la sección anterior para la eliminación del ruido. El resultado de aplicar el filtro de Sobel a la imagen de la figura 8 se muestra en la figura 9.



Figura 9. Resultado de aplicar el filtro de Sobel a la imagen de la figura 8.

Dilatación y erosión de la imagen. Al momento de aplicar la detección de bordes, se podrá notar que hay bordes muy tenues que podrían pasar desapercibidos en procesos posteriores; hay otros bordes que a pesar de pertenecer a una misma línea se podrían considerar como si fueran dos bordes distintos, lo anterior se debe a líneas que en la imagen previa son muy gruesas. Por ello es necesario aplicar dos técnicas que permitan sortear este tipo de situaciones.

En primer lugar, se aplica un proceso de dilatación para rellenar huecos diminutos para unificar bordes, a este proceso se le llama dilatación (González & Wintz, 1996). El resultado se puede ver en la figura 10.



Figura 10. Resultado de aplicar la dilatación a la imagen de la figura 9.

En segundo lugar, se aplica un proceso de erosión (González & Wintz, 1996) para adelgazar un poco las líneas que quedaron gruesas debido al proceso de dilatación. Con este proceso algunas líneas resaltarán respecto a las líneas que se tenían en la figura 9. El resultado se puede ver en la figura 11.



Figura 11. Resultado de aplicar la erosión a la imagen de la figura 10.

Detección y extracción de puntos característicos. Finalmente, para la detección de puntos característicos se utilizó la técnica SIFT, propuesta por Lowe (2004). Esta técnica consiste en localizar en una imagen puntos relevantes en cuanto a la cantidad de información de su entorno y estables frente a perturbaciones y transformaciones locales y globales que puede sufrir la imagen. La detección de puntos característicos se puede observar en la figura 12.

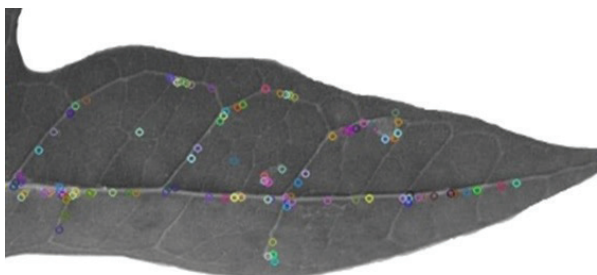


Figura 12. Resultado de aplicar la detección de puntos característicos con la técnica SIFT a la imagen mostrada en la figura 11.

En la figura 12 se muestra un acercamiento a la hoja de la plántula de papaya sobre la cual se colocaron los puntos característicos para una mejor visualización y una mayor relación a su ubicación espacial. Cada uno de los puntos característicos detectados está representado por un vector de características representado por 128 variables; cada punto característico tiene una región de interés de 4×4 celdas de igual tamaño, para cada una de ellas se calcula un histograma de orientaciones de 8 intervalos (45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° y 360°), de tal manera que se tienen en total $4 \times 4 \times 8 = 128$ características por cada uno de los puntos. Para profundizar en el entendimiento de la técnica SIFT se recomienda consultar a Lowe (2004).

Resultados

En las 55 imágenes que se utilizaron para las pruebas, se encontraron distintas cantidades de punto característicos. En la tabla I se muestra la cantidad mínima de puntos característicos encontrados en las imágenes; así como la cantidad máxima de puntos característicos encontrados en las imágenes.

Tabla I. Cantidad de puntos característicos encontrados en las 55 imágenes de plántulas que se utilizaron para las pruebas.

Sexo	Cantidad mínima	Cantidad máxima
Hermafroditas	62	878
No-hermafroditas	37	188

Como se mencionó anteriormente, cada uno de los puntos característicos está representado por 128 variables; por ello, en la tabla II se indica la cantidad total de variables (mínimas y máximas) con las que se estarían representando las hojas de plántulas de papaya.

Tabla II. Cantidad de variables mínimas y máximas extraídas por hoja a partir de las imágenes de plántulas de papaya.

Sexo	Variables mínimas	Variables máximas
Hermafroditas	7936	112384
No-hermafroditas	4736	24064

Para la extracción de variables se realizó un proceso de recuperación utilizando los puntos característicos encontrados con cada una de las imágenes que se utilizaron para dicho proceso, los resultados se muestran en la tabla III. El proceso de recuperación se utiliza para garantizar que los puntos característicos detectados en una imagen sean confiables al realizar el mismo proceso en forma repetitiva, es decir, que se puede ubicar a cada una de las plántulas de papaya en su clase correcta: hermafrodita o no-hermafrodita, utilizando los puntos característicos.

Tabla III. Porcentaje de éxito en el proceso de recuperación de imágenes de plántulas de papaya empleando los puntos característicos encontrados con la técnica SIFT.

Sexo	Cantidad de plántulas	Porcentaje de recuperación
Hermafroditas	30	100 %
No-hermafroditas	25	100 %

Discusión

El sexado en plantas de papaya se realiza generalmente a partir de los tres meses de edad, en la etapa de floración. Un experto se encarga de verificar la morfología de la flor para determinar el sexo de las plantas, mediante dicho procedimiento se conservan las mejores, generalmente las hermafroditas, y desechan las que no se consideren útiles. La razón de mantener las plantas de tipo hermafrodita, es porque su fruto tiene mayor aceptación en el mercado. Al realizar el sexado mediante la inspección visual se obliga al productor a realizar gastos importantes durante el periodo previo a la floración en plantas de papaya que no le resultarán útiles. Por ello es que se tiene la necesidad de buscar alternativas para el sexado en plántulas de papaya, en poco tiempo y a bajo costo.

Una alternativa propuesta por Ruiz *et al.* (2016), permite realizar el proceso de identificación del sexo en plantas de papaya a nivel molecular, empleando la técnica PCR múltiple para su identificación; sin embargo, este procedimiento es complejo y costoso, además de que requiere de la participación de personal altamente especializado.

En este trabajo se realizó la extracción de características o puntos de interés que pueden ser utilizados para la identificación del sexo en plántulas de papaya, con una herramienta informática que permita realizar dicho proceso, ahorrando tiempo y costos al determinar de manera oportuna el sexo en las plántulas de papaya, de tal suerte que, sólo se trasplantarían aquellas que sean de tipo hermafrodita desde las primeras etapas de su desarrollo. El beneficio para los productores sería significativo, ya que reduciría gastos, podría aumentar sus tasas de producción, obtener frutos de mejor calidad y hacer un mejor aprovechamiento de sus tierras.

Conclusiones

Se considera que los puntos característicos detectados por la técnica SIFT son viables para su uso en algún proyecto de investigación donde se pretenda detectar el sexo en

plántulas de papaya, sobre todo en etapas tempranas del desarrollo. Por el momento no se está realizando un proceso de clasificación, sólo se realizó un proceso de recuperación para identificar las plántulas de papayas con las que se estuvo trabajando en la presente investigación.

Aun cuando los expertos consideran que no es posible determinar el sexo de plántulas de papaya a partir de características visuales o algún otro método relativamente simple, se considera que hay ciertos elementos, denominados puntos característicos, en las citadas características que no son evidentes a la vista humana y sólo detectables mediante el procesamiento de imágenes descrito, que permitirán el sexado de plántulas de papaya.

Con base en lo anterior, se espera que en la continuidad de la presente línea de investigación se incorpore el proceso de clasificación utilizando la técnica *Support Vector Machine*, se pueda realizar una identificación de plántulas de papaya de tipo hermafrodita con un porcentaje significativo de éxito.

Trabajos futuros

A partir del presente trabajo de investigación se desprenden algunas líneas de investigación que permitirían seguir trabajando en pro de algún sistema funcional para la identificación de plántulas de papaya de tipo hermafrodita. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Implementar la técnica Bag of Words para identificar características comunes y relevantes en las imágenes de plántulas de papaya.
- Implementar la técnica Support Vector Machine para la clasificación de plántulas de papaya.

También se considera el desarrollo de una aplicación móvil para la identificación temprana de plántulas de papaya de tipo hermafrodita en tiempo real.

Referencias

- Barbedo, J. G. A., L.V. Koenigkan & T.T. Santos. 2016. Identifying multiple plant diseases using digital image processing. *Biosystems Engineering*, 147: pp.

- 104 - 116. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.03.012.
- Choudhry, P. 2016. High-Throughput method for automated colony and cell counting by digital image analysis based on edge detection. PLoS ONE, 11(2): pp. 1 - 24. DOI: 10.1371/journal.pone.0148469.
- De Coninck, B. M. A., O. Amand, S.L. Delaur, S. Lucas, N. Hias, G. Weyens, & B.P.A. Cammue. 2012. The use of digital image analysis and real-time PCR fine-tunes bioassays for quantification of *Cercospora* leaf spot disease in sugar beet breeding. Plant Pathology, 61(1): pp. 76 - 84. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2011.02497.x.
- González, R. & P. Wintz. 2002. Digital Image Processing. Prentice Hall, 793 pp.
- Kamath, S. B., S. Chidambar, B.R. Brinda, M.A. Kumar, R. Sarada & G.A. Ravishankar. 2005. Digital image processing - An alternate tool for monitoring of pigment levels in cultured cells with special reference to green alga *Haematococcus pluvialis*. Biosensors and Bioelectronics, 21(5): pp. 768 - 773. DOI: 10.1016/j.bios.2005.01.022.
- Lowe, D.G. 2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision. 60(2): pp. 91 - 110. DOI: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
- Ruiz-Ruiz, F., J.K. Cruz-Vázquez, J.L. Anaya-López & A.P. Rodríguez Vera. 2017. Evaluación de marcadores moleculares en la predicción temprana de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) de tipo hermafrodita var. maradol en la zona Costa de Oaxaca. Temas de Ciencia y Tecnología, 21(63): pp. 22-32.

Recibido: 09 de febrero de 2018

Aceptado: 09 de marzo de 2018