

IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS COMUNES EN UN CULTIVO DE CEBOLLA (*Allium cepa*) MEDIANTE PDI

IDENTIFICATION OF COMMON PARAMETERS IN AN ONION CROP (*Allium cepa*) BY PDI

J. Guadalupe Espinoza García ^a, Carlos Alberto Olvera Olvera^{a*} Gustavo Espinoza García ^a, Mireya Moreno Lucio ^b, Ma. Auxiliadora Araiza Esquivel ^a, Santiago Villagrana Barraza ^a, Francisco Eneldo López Monteagudo ^a.

^a Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, Campus Siglo XXI, Zacatecas, México.

^b Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Posgrado en Ingeniería y Tecnología Aplicada, Campus López Velarde, Zacatecas, México

* colvera@uaz.edu.mx.

Resumen

Para comprender el crecimiento de un cultivo, es necesario conocer e identificar los parámetros que influyen en su desarrollo. Para ello se requieren herramientas adecuadas, derivadas de la combinación de la agricultura con las tecnologías electrónicas existentes hasta hoy en día; las cuales ayudan a identificar información y características que interfieren en los procesos fisiológicos de las plantas. El objetivo de esta investigación fue aplicar PDI a imágenes aéreas, tomadas sobre un cultivo de cebolla en la región zacatecana, para encontrar las problemáticas que afectan su crecimiento. Se desarrolló e implementó un algoritmo, en el lenguaje de programación Python 3.6®, con la finalidad de estimar de manera automática, algunas anomalías comunes a nivel parcelario en cebolla, como: la maleza, la densidad poblacional de vegetación y exceso de humedad incluyendo fugas, encontrando un porcentaje de 90, 95.08 y 80.44 respectivamente, los porcentajes mencionados fueron obtenidos en función de la comparación automática-visual.

Palabras clave: Maleza, transformación de color, binarización, imágenes aéreas, PDI.

Abstract

To understand the growth of a crop, it is necessary to know and identify the parameters that influence its development. For this, adequate tools are required, derived from the combination of agriculture with the electronic technologies that exist today; which help to identify information and characteristics that interfere with the physiological processes of plants. The objective of this research was to apply PDI to aerial images, taken on an onion crop in the Zacatecan region, to find the problems that affect its growth. An algorithm was developed and implemented, in the Python 3.6® programming language, with the purpose of automatically estimating some common anomalies at the onion level, such as: weeds, population density of vegetation and excess humidity including leaks, finding a percentage of 90, 95.08 and 80.44 respectively, the percentages mentioned were obtained based on the automatic-visual comparison.

Keywords: Weeds, color transformation, binarization, aerial images, DIP.

Introducción

La agricultura de precisión (AP) tiene como objetivo optimizar la gestión agronómica de una parcela, enfocándose en ajustar y adaptar las prácticas de cultivo a las necesidades de la planta y medio ambiente. La AP maximiza el rendimiento de la producción y contribuye a la reducción de los costos de los insumos durante el periodo de cultivo, y disminuye el impacto negativo ambiental. Una de las características principales de la AP es realizar el análisis y control de anomalías de un cultivo,

entendiéndose con esto la maleza y exceso de humedad.

La variabilidad de estas anomalías dentro del área de cultivo influye en el producto final, y con la ayuda de la AP se puede identificar la causa de estas (Santillán & Rentería-Rodríguez, 2018).

La AP consta de tres etapas, la primera es recolección de datos, la segunda es el análisis de estos, de aquí un experto da sugerencias del manejo de la variación de las anomalías encontradas y la tercera es la implementación, aquí el productor cultiva el terreno según las recomendaciones. La recolección de datos se puede realizar mediante sensores remotos o imágenes

satelitales (Santillán & Rentería-Rodríguez, 2018), por ejemplo, el uso de vehículos aéreos no tripulados (de sus siglas en inglés UAV's o drones) facilita la adquisición de estos, de manera puntual. Los drones como herramienta tecnológica ayudan a identificar de problemas visibles en un cultivo, donde se tiene que monitorear grandes extensiones de terreno en poco tiempo debido a afectaciones climatológicas. Ya que los drones pueden contar con cámaras de alta definición o cámaras multispectrales, permiten la toma de fotografías que hacen posible detectar características que se pasan por alto a simple vista y que a su vez contribuyen a una mala toma de decisiones (González, Amarillo, Amarillo, & Sarmiento, 2015).

Existen datasets de imágenes capturadas con drones, las cuales presentan características que difieren dependiendo de la hora, ángulo, ubicación, tipo de cultivo, etc.; Estos son de gran utilidad al identificar problemáticas que no favorecen al crecimiento de los cultivos; Generando un dataset más variado y mediante el desarrollo de un algoritmo o sistema, se identificarían las anomalías de afección y por consiguiente, se lograría un gran avance en la agricultura, sobre todo en la toma de decisiones a una etapa temprana de los daños en el cultivo.

Como lo menciona López-Urquidez et al. (2017), “La cebolla (*Allium cepa*) es la segunda hortaliza más importante a nivel mundial solo después del tomate, con una producción cercana a 86 millones de toneladas a nivel mundial”, donde México representa el 1.48% de la producción total. Dado esto surge la necesidad de monitorear los campos de cebolla para minimizar las pérdidas por causas no deseadas, como excesos de humedad y aparición de malezas.

La cebolla es producida en la región zacatecana y su producción depende en parte del cuidado preventivo y correctivo que el productor brinda a sus parcelas, viéndose reflejado en un mayor rendimiento de la cosecha al fin de ciclo. Debido a lo anterior este trabajo se enfoca a los daños que recibe el cultivo por parte de las anomalías que no permiten su desarrollo de forma ideal, las cuales, representan un dolor de cabeza y una problemática latente para los productores, que al generar la experiencia ven los costos en cuanto a tiempo, economía y esfuerzo que dichas anomalías generan de manera excesiva.

Esto conlleva a buscar propuestas de solución y metodologías de apoyo para que los agricultores puedan obtener la producción que se proyecta, y poder obtener un rendimiento de cultivo aceptable y una remuneración digna del trabajo que día con día implican estas labores.

Una alternativa de solución es implementar el Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) con un enfoque directo a los espacios de color, para identificar las anomalías en las imágenes de cultivo usando segmentación por umbral de histograma, o algún otro método o técnica.

La segmentación es un proceso que subdivide una imagen en objetos, con el fin de separar las partes y/o regiones de interés (ROI) del resto de la imagen, haciendo la clasificación de sus píxeles, e indicando las clases a la que pertenecen; Song & Yan, (2017) describen los diversos tipos de segmentación de imágenes, y nombran la popularidad del método de segmentación por umbral.

En el método de segmentación por umbral, se elige el nivel de binarización de la imagen, proveniente de la distribución de píxeles llamado histograma (Liu, Liu, Hu, & Nie, 2015), en la que se comprenden dos distribuciones separadas dependiendo de la cantidad de objetos y características que se desee resaltar en la imagen y su fondo, sin superposición entre los mismos, convirtiendo la imagen de escala de grises, a una imagen lógica a la que se le puede aplicar otros procesamientos.

La segmentación interactiva es una variante a la segmentación por umbral y uno de sus métodos más utilizados es el grabCut, debido a su interacción simple y resultados relativamente precisos, que permiten tareas de reconocimiento de características en imágenes; este método considera el problema de segmentación de la imagen a color, como un problema del etiquetado binario de la imagen, con 0 para el fondo y 1 para el primer plano. (Li & Kong, 2019).

La finalidad de este proyecto fue detectar anomalías comúnmente visibles en un cultivo de cebolla, como la maleza, las zonas de exceso de riego y fugas; y la vegetación, basados en segmentar las áreas que contienen estas anomalías, con el fin de saber cuál es la condición que interrumpe el crecimiento de las plantas en una parcela, este trabajo va de la mano con las tareas de solución al campo agrícola, y el desarrollo de sistemas de monitoreo basados en un algoritmo que determine de manera automática las condiciones que afectan al desarrollo ideal de cultivo de cebolla durante toda su etapa fenológica e impulsando la transferencia tecnológica para futuros desarrollos biomecatrónicos y apoyo al sector agrario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de experimentación

Para evaluar el uso de técnicas de PDI y la efectividad de su implementación para la detección de anomalías como maleza, zonas de humedad y densidad poblacional de vegetación, se tomaron fotografías aéreas durante diferentes etapas de crecimiento de un cultivo de cebolla; el cual estuvo ubicado en la comunidad del Potrero, Catarinas, Fresnillo, Zacatecas ubicada en las coordenadas 23.108511, -102.640535 a 2076 msnm.

Materiales biológicos, hardware y software

La investigación se realizó en un cultivo de cebolla, en el cual se utilizó un sistema de riego por goteo, el cultivo fue monitoreado a diferentes fechas comprendidas del mes de marzo a julio del 2019. Se utilizó un dispositivo aéreo no tripulado modelo Phantom 4 Pro de la compañía DJI para la adquisición de imágenes a diferentes alturas y en diferentes periodos de crecimiento del cultivo. Se utilizó una computadora DELL con un procesador Intel® Core i5 (TM), 8 GB de memoria RAM. Para el procesado se desarrolló un algoritmo en el lenguaje de programación Python 3.6®.

Descripción del procesamiento

Adquisición de la imagen

Para la adquisición de las imágenes se utilizó el UAV antes mencionado para efectuar vuelos sobre el cultivo de cebolla a alturas menores a los 20 metros sobre el cultivo, donde las imágenes muestran corresponden a la semana 8, 13, 15 y 13 y se encuentran a 2, 10, 5 y 5m de altura fueron tomadas en un espacio de color RGB en tamaño de 3648 * 4864 píxeles, las cuales se almacenaron en dataset.

Descripción del algoritmo

Este algoritmo se desarrolló para la extracción de anomalías que afectan el desarrollo de un cultivo de cebolla, como la maleza, la humedad, y el índice de vegetación, mediante imágenes aéreas.

Implementar cambios de espacios de color, como: el espacio RGB-YUV y RGB-CIE*Lab.

La conversión RGB-YUV en el canal V permitió la visualización del área verde; mientras que la conversión RGB-CIE*Lab en su canal (-a) permite la visualización del área orgánica enferma. Lo anterior usando máscaras definidas de manera individual mediante su histograma.

El uso del histograma para la selección de un umbral adecuado en imágenes permitió en la primera etapa la

separación de suelo y la vegetación mediante la transformación de color RGB-YUV y RGB-CIE*Lab.

En la segunda etapa se separó la maleza del cultivo y la humedad en suelo del área seca con la implementación de emparejamiento de imágenes en la parte visual, se realiza mediante plantillas, las cuales consisten en recortes de las ROI, y su localización en la imagen tratada, esto permitió contabilizar el área de las plantillas.

En la parte automática se aplicó del algoritmo grabCut para segmentar un área específica delimitada mediante las ROI, al final se llevó a cabo el conteo de área segmentada, mediante el apoyo de un algoritmo para la detección de áreas. La descripción de dichas técnicas de procesamiento se encuentra a continuación:

Umbralización

El histograma establece dos distribuciones separadas, una que representan objetos de primer plano y otra el fondo, sin superposición y su implementación permite separar la imagen original en secciones mediante el uso de un valor umbral, obteniendo únicamente un área de interés y es denominado como la representación de la distribución de color de una imagen en un plano (X, Y), el eje X contiene los valores del color, mientras que en el eje Y el número de píxeles.

El umbral mencionado está comprendido desde 0 a 255 en imágenes de 8 bits dependiendo de la imagen tratada y el color de cada píxel que compone esta (Dougherty, 2009).

Se utilizaron máscaras binarias, las cuales hacen un filtrado y colocan los píxeles de la imagen que estén presentes dentro del umbral establecido en la nueva imagen, mientras que los valores que no se encuentran en este rango son colocados como fondo negro con base en la Ecuación 1:

$$Img\ nueva = \begin{cases} 0 & \text{si } pixel \notin \text{umbral} \\ píxel & \text{si } píxel \in \text{umbral} \end{cases} \quad (1)$$

Transformación de color

RGB-YUV.- Para poder detectar las anomalías buscadas en las imágenes, fue necesario aplicar transformación de color del espacio RGB-YUV, esta transformación se obtiene mediante la Ecuación 2 (Ford & Roberts, 1998)

$$Y' = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$$

$$U = -0.147 * R - 0.289 * G + 0.436 * B \quad (2)$$

$$V = 0.615 * R - 0.515 * G - 0.100 * B$$

Esta transformación cuenta con un canal de brillo Y, y dos de crominancia o color U y V, se toma el canal V, este cuenta con un comportamiento similar en las

diferentes imágenes de la muestra, y permite resaltar las áreas verdes de la imagen, incluyendo la maleza y plantas del cultivo.

RGB-CIE*Lab.- En este estudio, la transformación se utiliza para detectar las zonas de vegetación enferma o muerta, es decir en algunos casos, plantas secas o amarillentas (Ford & Roberts, 1998), la transformación de RGB-CIE*Lab se obtiene con la Ecuación 3.

$$\begin{bmatrix} Y \\ X \\ Z \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.35758 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.71516 & 0.072169 \\ 0.19334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix}$$

$$X \leftarrow X/X_n \text{ donde } X_n = 0.950456; Z \leftarrow Z/Z_n \text{ donde } Z_n = 1.088754$$

$$L \leftarrow 116 * Y^{1/3} - 16 \text{ para } Y > 0.0088; 903.3 * Y \text{ para } Y \leq 0.0088$$

$$a \leftarrow 500(f(X) - f(Y)) + \text{delta} \quad (3)$$

$$b \leftarrow 200(f(Y) - f(Z)) + \text{delta}$$

$$\text{Donde } f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & \text{para } t > 0.0088 \\ 7.787t + \frac{16}{116} & \text{para } t \leq 0.0088 \end{cases}$$

$$\text{delta} = 128 \text{ para imágenes de 8bit}$$

L corresponde al valor de la luminancia, a y b son los valores cromáticos, donde a denota intensidad del color del rojo al verde. El canal (-a), se encontró el área enferma del cultivo.

Al sumar los resultados del canal V y el canal (-a) se obtiene la vegetación total en la parcela (malezas y cultivo).

Estimación de maleza y cultivo

Debido a que la planta de cebolla presenta una forma definida y alargada es sencillo detectar las malezas, ya que presentan una estructura de forma distinta y más abultada.

Esto ayuda a la segmentación de la mala hierba, se utilizó el emparejamiento manual de las imágenes para la detección visual, con ello se delimitó con forma rectangular de color rojo la posición de cada maleza para ser contada. Mientras que en la parte automática se separaron las malezas de la imagen original, conservando el área y la posición de estas, que son las ROI a detectar mediante la implementación del algoritmo grabCut.

Estimación de vegetación

Una vez obtenida el área de vegetación total y la maleza en imágenes distintas, se obtuvo una estimación de la vegetación existente en cada imagen, haciendo la resta del área de malezas al área de vegetación, logrando una nueva imagen con solo

cultivo; para el cálculo del porcentaje de vegetación se utiliza la Ecuación 4:

$$\% \text{ vegetación} = \frac{\text{área del cultivo}}{\text{área vegetación total}} \quad (4)$$

Estimación de la humedad

La estimación de la humedad es de interés, debido a que un cultivo saturado de humedad, en conjunto con las variables climatológicas apropiadas, genera las condiciones ideales para la aparición de hongo, afectando la zona de la raíz haciéndola más delgada y débil.

Debido a que la humedad se presentó con machas irregulares, para la extracción automática del área húmeda, fue necesaria la implementación del algoritmo grabCut.

Al restar el área de vegetación a la imagen original se observó que el suelo húmedo bajo las hojas de cebolla no se visualiza, por lo que se optó por aplicar el emparejamiento a la zona húmeda aun con el cultivo.

Permitiendo con ello contar el área afectada por el agua, en la parte visual se realizó emparejamiento con plantillas de imagen para contar el área presente.

El porcentaje de humedad se determinó con la Ecuación 5

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{área de humedad segmentada}}{\text{área húmeda visual}} \quad (5)$$

El área contenida en la plantilla se consideró el 100% del área húmeda, mientras que la humedad detectada automáticamente deja áreas sin ser segmentadas.

Regiones de interés

Para obtener las imágenes de cada Maleza, humedad y / o vegetación, se utilizó el algoritmo de segmentación grabCut, este es un método de extracción en primer plano del fondo de la imagen, en el cual, se ingresa un rectángulo que contenga el objeto a segmentar, e internamente las coordenadas se seleccionan según la compresión de la máscara de primer plano.

Aquí la región de interés es seleccionada por el usuario y todo lo que está fuera de esta región se considera fondo y se vuelve negro. Luego mediante un modelo de mezcla gaussiana se generan etiquetas para los píxeles dentro de la ROI y se agrupa cada término por color, el algoritmo separa la imagen en dos, una para el primer plano y la otra con el fondo.

Es basado en uso de grafos y fue desarrollado en 2004 por Rother, Kolmogorov, & Blake, este algoritmo permitió la detección las ROI (González & Woods, 2002; Ramírez et al., 2012), de una manera efectiva y

automática, lo que permitió detectar el patrón que influye sobre el cultivo y comparar con la obtención visual.

Resultados Y Discusión

La distribución del color del histograma para el canal V en la transformación de color RGB-YUV permitió la separación del área de vegetación eliminando el suelo, se encontró en un rango promedio 80-118, dicho rango varía con las condiciones de cada imagen. Para el canal (-a) el rango encontrado es 135-255 en promedio.

Se muestra la comparativa ente las malezas detectadas de manera visual, respecto a las encontradas de manera automática en imágenes de prueba, se observó que si las malezas no contienen un área individual mayor a 50x50 píxeles no logran ser detectadas por el algoritmo grabCut, llegando a un grado de acierto considerable como se muestra en la Tabla 1, además cada maleza segmentada conservó su posición original.

La Tabla 1 en la columna “Img_original” indica la cantidad de malezas observadas de manera visual, consideradas como el 100% de malezas en el cultivo, y la maleza detectada automática se presenta en la columna “Img_procesada”, dando hasta un 90% en promedio de acierto en el método automático en las imágenes muestra.

Tabla 1. Maleza estimada en un cultivo de cebolla

Maleza			
# imagen	Img_original	# de malezas Img_procesada	%
1	9	9	100%
2	53	44	83%
3	22	17	77%
4	11	11	100%
Promedio			90%

En las imágenes con vegetación se obtuvo el número de píxeles con un algoritmo para detección de áreas. Se les restó la imagen de maleza segmentada y con ello, el porcentaje de los píxeles contenidos en el área de cultivo se registró en la Tabla 2 donde se muestra el porcentaje de cultivo estimado por cada imagen, obteniendo hasta un 95.08% de cultivo, lo cual determina que el área de malezas en el cultivo alcanzó el 4.92% de invasión de la parcela.

Tabla 2. Vegetación estimada en un cultivo de cebolla

Cultivo estimado

# imagen	%
1	91.93%
2	96.7%
3	95.09%
4	96.6%
Promedio	95.08%

Debido a que las imágenes fueron tomadas una vez por semana, no siempre existió riego o fugas, por ello que dos de las imágenes tratadas se encontraban secas y las otras estaban con humedad de suelo, en estas la detección automática del área húmeda representa una exactitud del 80.44% en promedio reflejado en la Tabla 3. El área considerada visual se determina de manera directa y se consideró el 100% del área húmeda y en base al uso de plantillas determinadas por los autores.

Tabla 3. Porcentaje de humedad estimada en un cultivo de cebolla

Humedad	
# imagen	%
2	70.06%
4	90.82%
Promedio	80.44%

La tabla 4 muestra el resumen general de los porcentajes estimados con el algoritmo a imágenes aéreas sobre un cultivo de cebolla, tomadas durante diferentes etapas del cultivo y a diferentes alturas.

Tabla 4. Porcentaje de los parámetros encontrados en un cultivo de cebolla a través de imágenes digitales.

Porcentaje General		
anomalía 1	Maleza	90%
anomalía 2	Densidad Poblacional de cultivo	95.08%
anomalía 3	Exceso de humedad y fugas	80.44%

La detección de las anomalías más visibles en un cultivo de cebolla, son indispensables para la mejora de la producción en el campo zacatecano, mediante la toma de decisiones en etapa temprana, que permiten alcanzar la producción propuesta en el inicio de ciclo.

La Fig. 1 presenta la implementación general del algoritmo de procesamiento, partiendo de la imagen original mostrada en (Fig. 1a), a la que se le aplica transformación de color de RGB-YUV y RGB-LAB, para segmentar el suelo del área verde de la imagen, en (Fig. 1b) se muestra el área vegetal además de aplicar emparejamiento de imágenes para hacer notar la posición de las malezas. Se aplicó el algoritmo grabCut para detectar la maleza y separarla del cultivo en una imagen nueva (Fig. 1c) y con ello obtener el área generada por la densidad de vegetación libre de maleza (Fig. 1d). En la (Fig. 1e) se etiquetaron con plantillas las zonas que contienen humedad, y su vez se implementó el algoritmo segmentando el área humedad de manera automática, como se ve a la derecha de la figura reconstruyendo una zona de humedad aceptable.

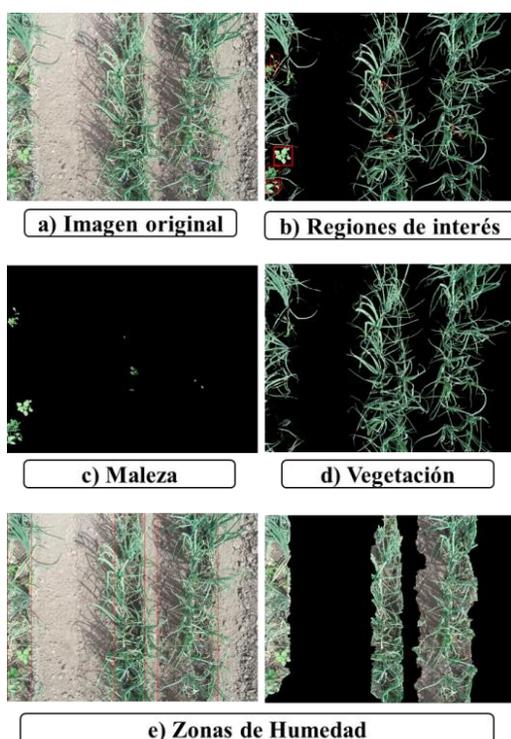


Fig. 1 Ejemplo del procesamiento del algoritmo aplicado a una imagen del cultivo. Fuente: Autores.

Conclusión

Con el monitoreo constante del crecimiento del cultivo y el uso de PDI para la identificación de anomalías visibles que afectan el desarrollo del cultivo de cebolla, se arrojó información favorable para el agricultor, ayudando a identificar “que zonas” son las que requieren de mayor mantenimiento preventivo y

correctivo, acorde a la anomalía que presenta el cultivo, donde la más notoria es la maleza.

El uso de PDI para la detección de parámetros que afectan de la producción final representa un beneficio para el agricultor, orientando mejorar la toma de decisiones, y generar la mayor producción por cultivo.

A medida incrementa la altura de la fotografía, las anomalías son menos visibles y en conjunto, se puede causar error humano, por lo cual es recomendable para trabajos futuros automatizar esta sección del proceso donde se seleccionen las ROI automáticamente.

Agradecimientos

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada bajo el número de solicitud 2018-000068-02NACF-24004 al becario identificado con el CVU 814763.

Un agradecimiento especial al C. José Alfredo Núñez Serna por permitir a los autores el desarrollo de sus experimentos en su cultivo.

Nota: Todas las tablas figuras diagramas son fuente propia.

Referencias

- Dougherty, G. (2009). *Digital image processing for medical applications*. (C. U. Press, Ed.) (Firts). New York: California University Press.
- Ford, A., & Roberts, A. (1998). *Colour Space Conversions, 1998*, 1–31.
- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2015). Drones A plicados a la A gricultura de Precisión. *Revista Especializada En Ingeniería, 10*, 23–37.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2002). *Digital image processing*. Prentice Hall. [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(90\)90171-Q](https://doi.org/10.1016/0734-189X(90)90171-Q)
- Li, A., & Kong, R. (2019). Color Image Segmentation Method and Its Application in Agriculture. *Revista de La Facultad de Agronomía, 36*(3), 592–602.
- Liu, M., Liu, Y., Hu, H., & Nie, L. (2015). Genetic algorithm and mathematical morphology based binarization method for strip steel defect image with non-uniform illumination. *Journal of Visual Communication and Image Representation, 37*, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2015.04.005>
- López-Urquidez, G. A., Gastélum-González, S. A., Díaz-Valdés, T., Ayala-Tafoya, F., Madueño-Martínez, J. I., & López-Orona, C. A. (2017). Incremento del tamaño y peso del bulbo de cebolla

(*Allium cepa* L.) por translocación de nutrientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1647. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.519>

Ramírez, E., Martínez, D., & Carmona, R. (2012). Segmentación de imagen a color basada en el algoritmo grabcut. *Revista de Ingeniería*, 15, 21–38.

Rother, C., Kolmogorov, V., & Blake, A. (2004). “GrabCut” — Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 23(3), 309. <https://doi.org/10.1145/1186562.1015720>

Santillán, O., & Rentería-Rodríguez, M. E. (2018). Agricultura de Precisión. *INCYTU*, 52(15), 1–6.

Song, Y., & Yan, H. (2017). Image Segmentation Techniques Overview. *AMS 2017 - Asia Modelling Symposium 2017 and 11th International Conference on Mathematical Modelling and Computer Simulation*, 103–107. <https://doi.org/10.1109/AMS.2017.24>.