

XVIII Simposio de Ingeniería Eléctrica SIE2019

**Análisis del empleo de la RaspberryPi Camera Module V2 en
aplicaciones de agricultura de precisión**

***Possibility of using the RaspberryPi Camera Module V2 camera in
precision agriculture applications***

**Ing. Jorge Peña Martín¹, Omar Rafael Machado Fábregas², Dr.C. Rubén Orozco
Morales³, MS.c. Delvis Garcia Garcia⁴**

1-Ing. Jorge Peña Martín. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.

jopena@uclv.cu

2- Omar Rafael Machado Fábregas. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas,

Cuba. omachado@uclv.cu

3- Dr.C. Rubén Orozco Morales. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas,

Cuba. rorozco@uclv.edu.cu

4- MS.c. Delvis Garcia Garcia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.

dggarcia@uclv.edu.cu

Resumen: Dentro de la agricultura de precisión se han dedicado esfuerzos al desarrollo de aplicaciones para la aplicación variable de pesticidas y herbicidas. En Cuba el método empleado para la aplicación de dichas sustancias es el método clásico, el cual contribuye a la contaminación del medio ambiente y el malgasto de recursos, pero el acceso a nuevas tecnologías puede ser caro y complejo. Evaluar el empleo del hardware compuesto por la *Raspberrypi 3 Model B +* y la cámara *Raspberry Pi Camera Module V2* para la detección de plantas empleando una proyección horizontal es el objetivo de la presente investigación. Para ello se emplearon los métodos reportados en la literatura basados en índice de color y en cambio de espacios de colores. Al aplicárseles los métodos a las imágenes adquiridas se obtienen resultados similares, resultando que se destaca además de la planta de interés el fondo en la imagen que contenga verdes similares al objetivo. Se evidencia así la necesidad de seleccionar valores de umbral adecuados, de acuerdo al tipo de cultivos, para la binarización de las imágenes; así como la necesidad de contar con un algoritmo que diferencie lo que es primer plano (plano de interés) del segundo plano.

***Abstract:** Inside of precision agriculture, efforts have been devoted to the development of applications for the variable application of pesticides and herbicides. In Cuba, the method used to apply these substances is the classical method, which contributes to environmental pollution and waste of resources, but access to new technologies can be expensive and complex. Evaluate the use of the hardware composed of the Raspberrypi 3 Model B + and the Raspberry Pi Camera Module V2 for the detection of plants using a horizontal projection is the objective of the present investigation. For that, the methods reported in the literature based on color index and colors spaces change were used. When the methods are applied to the acquired images, similar results are obtained, resulting in the fact that the background in the image containing greens similar to the target stands out in addition to the plant of interest. This demonstrates the need to select appropriate threshold values, according to the type of crops, for the binarization of the images; as well as the need to have an algorithm that differentiates what is the first plane (plane of interest) from the second plane.*

Palabras Clave: Agricultura de Precisión; Detección de Plantas; Índices Basados en Color; RaspberryPi; OpenCV

Keywords: Precision Agriculture; Plant Detection; Color Based Indexes; Raspberrypi; OpenCV

1. Introducción: Investigaciones para la detección de plantas y malas hierbas

En los últimos años ha habido un aumento en los esfuerzos por lograr un desarrollo sostenible, especialmente en lo concerniente a la producción de alimentos. Dentro de este desarrollo la agricultura de precisión ha tenido gran importancia, la cual lleva consigo un aumento de la productividad alimenticia con el empleo racional de los recursos necesarios para ello. Debido a ello en las últimas décadas disímiles aplicaciones han surgido con el objetivo de resolver diversas problemáticas dentro de la agricultura, como puede ser la aplicación de fertilizantes, abonos, plaguicidas, herbicidas y demás sustancias químicas.

En Cuba en la actualidad se cuenta con muy poca automatización para el proceso de la aplicación de plaguicidas y herbicidas, siendo el método tradicional el más empleado.

Este método tradicional consiste en aplicar dichas sustancias químicas a los arbustos y/o malas hierbas presente en los campos de cultivo haciendo empleo para ello de pulverizadoras que esparcen dichas sustancias desde que se adentran en el campo y sin tener en cuenta la existencia o no de plantas y/o malas hierbas (Milioto et al., 2018).

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



La aplicación tradicional de estas sustancias constituye una de las acciones donde más se desperdician este tipo de recursos en la actualidad (García-Santillán and Pajares, 2018), conllevando con ello a un incremento de los costos de producción debido a un gasto excesivo de recursos, contaminación de las aguas subterráneas y daños ambientales como la degradación de los suelos.

Para tratar de reducir todas estas inconvenientes han surgido alternativas para la aplicación de herbicidas y plaguicidas. En las dos últimas décadas el mundo ha visto un aumento de las investigaciones científicas que forman parte de proyectos que persiguen dicho fin. Muchas de estas investigaciones se centran en la detección de las plantas y las malas hierbas para, posteriormente, realizar una aplicación más precisa de dichos productos.

Ejemplo de ellas son las investigaciones realizadas en (Pajares et al., 2016; Pérez-Ruiz et al., 2015) donde se evidencian hacia donde se dirige las investigaciones en este ámbito, mostrando un conjunto de tractores autónomos empleados para la aplicación variable de plaguicidas. Para el cumplimiento de sus misiones estos vehículos se encuentran equipados con una serie de sensores y aditamentos entre los que se encuentran diversos tipos de cámaras. Dicha aplicación variable de plaguicidas, considera las dos posibilidades fundamentales con la que podrían interactuar dichos equipos: cultivos de pequeño tamaño y cultivos de gran tamaño como lo constituyen arboles de aceituna. Para determinar la aplicación o no de dichas sustancias emplean para los cultivos pequeños un sistema que integra las imágenes tomadas con la cámara, mientras que para los arbustos grandes emplean un conjunto de sensores ultrasónicos.

Estas dos variantes de aplicación variable de componentes han tenido un auge en investigaciones recientes, donde la inmensa mayoría de los resultados expuestos mediante sistemas que incorporan cámaras tratan de determinar la presencia o no de plantas y malas hierbas en cultivos de tamaño pequeño; donde la proyección de la cámara sobre el terreno es vertical o con cierto ángulo de inclinación, tal como se ilustra en la Figura 1.

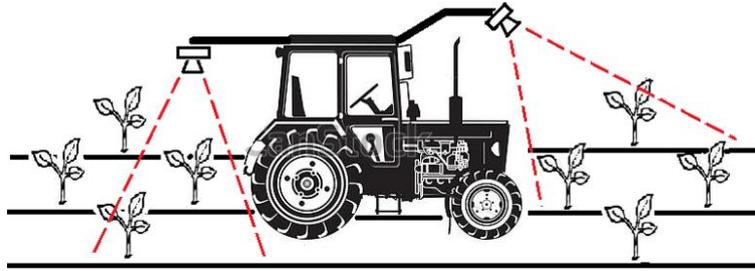


Figura 1. Proyecciones verticales y oblicuas típicas de las cámaras sobre los campos de cultivo.

En este sentido la mayoría de los métodos empleados en el procesamiento de las imágenes captadas se pueden clasificar en tres grandes grupos (Hamuda et al., 2016):

- Métodos basados en índices de colores
- Métodos basados en umbral
- Métodos basados en aprendizaje

Con el desarrollo de las investigaciones en el primero de estos grandes grupos han surgido una gran cantidad de métodos que brindan como resultados imágenes donde lo más relevante sea las plantas y malas hierbas que aparecen en los surcos. Estas imágenes obtenidas pueden ser entonces la base para otros procedimientos que resultan en un realce de las características importantes para los investigadores.

Aunque en (Wang et al., 2019) plantean que los métodos basados en índices de colores son la etapa inicial para discriminar los píxeles de la imagen entre plantas y fondo, por lo que estos métodos necesitan casi siempre algún tipo de umbral. Es por ello que los autores de esta investigación plantean que estos métodos también se pueden clasificar como métodos basados en umbral, criterio con el cual los autores de la presente investigación coinciden.

En investigaciones abarcadoras como la presentada en (Guijarro et al., 2011; Kazmi et al., 2015; Montalvo et al., 2013), se pueden evidenciar el empleo de diversos índices de color para realizar una comparación entre ellos a ver cuál ofrece mejores resultados, en diferentes tipos de cultivo como son el maíz y de remolacha azucarera; empleando algunos índices bien conocidos como el índice de exceso de verde (ExG:), índice de exceso de rojo (ExR), índice de exceso de verde menos índice de exceso de rojo (ExGR), índice de diferencia normalizada (NDI) y índice de color de extracción de vegetación (CIVE); y otros no tan conocidos como ERI, EGI, EBI. Similar procedimiento es el observado en (Ye et al., 2015) donde se emplean varios de estos índices para extraer características mediante la técnica de superpixel.

Otros trabajos como el expuesto en (Zhang et al., 2018) emplean un solo índice, como es el caso del método ExG, como imagen primaria para la aplicación de otras técnicas de visión por computador con la finalidad de detectar los surcos de maíz para ser usado en el guiado de vehículos terrestres autónomos dentro de los campos plantados de maíz; además de que es posible utilizar dicho resultado con otros objetivos como la aplicación de plaguicidas y demás productos químicos. Similar investigación se había publicado anteriormente en (García-Santillán et al., 2018) donde se emplea el mismo índice para identificar las plantas de igual cultivo, pero emplean la transformada de *Hough* como una de las técnicas aplicadas para detectar los surcos, los cuales en este caso también pueden ser curvos, y no solo rectos como en la investigación mencionada anteriormente.

Las proyecciones horizontales, como se muestra en la Figura 2, han sido poco usadas, y en los casos en que se presenta las imágenes son tomadas de noche o en ambientes oscuros, donde además es necesaria alguna fuente de iluminación para detectar el objetivo; como en el caso de (Jenkins and Kantor, 2017) donde se emplean dos cámaras y dos focos *iluminantes Xenon* para detectar la presencia de plantas de maíz y su posterior corte por parte de un robot; o la investigación presentada en (BAWEJA et al., 2017) donde empleando una cámara RGB en un viñedo para determinar el conteo de los brotes de uvas.

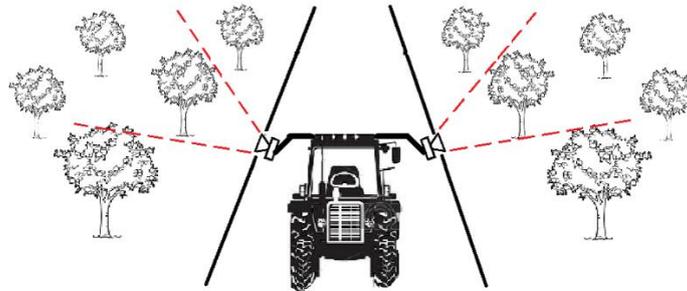


Figura 2. Proyecciones horizontales de las cámaras sobre los campos de cultivo.

Pero no siempre estas soluciones están al alcance de todos los interesados, y en ocasiones suelen ser costosa su adquisición y mantenimiento. Es por ello que proponer alternativas más asequibles o baratas puede constituir alternativas a tener en cuenta por los científicos y las empresas que desarrollan dichas tecnologías.

Es por ello que, luego de evaluar las posibles hipótesis, se plantea como objetivo de la presente investigación evaluar la posibilidad del empleo de las imágenes tomadas con el conjunto conformado por la *Raspberry Pi 3 Model B+* en unión con la *Raspberry Pi*

Camera Module V2 para la detección de plantas empleando una proyección horizontal, es decir, perpendicular al suelo; y los métodos más empleados en la literatura.

Cabe destacar que la intención del trabajo expuesto aquí no es medir la exactitud de los métodos empleados, sino evaluar su comportamiento al detectar o no la presencia de las plantas de interés; para su posterior inclusión en un sistema de visión por computador en el cual se tenga en cuenta o no la presencia de las plantas para realizar un proceso de fumigación variable.

2. Empleo de la cámara de la *Raspberry Pi Foundation* en aplicaciones de tiempo real

Dentro de las características más atractivas de este dispositivo y que lo convierten en un buen candidato para aplicaciones de tiempo real es que se encuentra compuesta por un procesador a 64 bit Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) a una frecuencia de 1.4 GHz; memoria RAM de 1GB; comunicación Wifi, Bluetooth y Ethernet; 4 puertos USB; 40 pines de entrada-salida (GPIO); interfaces para cámara y pantalla; y alimentación de 5V. Todo esto integrado en un área de 56 X 85 milímetros (*Raspberry Pi*, 2018a), y con un precio aproximado de 35 USD.

Mientras que la cámara *Raspberry Pi Camera Module V2* emplea un sensor de 8 megapíxeles (Mp) Sony IMX219. Viene incluida con un conector CSI (*Camera Serial Interface*) de 15 cm para su incorporación con el módulo del procesador, con una resolución de 3280 X 2464 píxeles y un tamaño por pixel de 1.12 micrómetros. Soporta resoluciones de video máximas de 1080 píxeles a 30 cuadros por segundo y emplea el driver V4l2 para su fácil integración a un sistema operativo basado en Linux (*Raspberry Pi*, 2018b). Posee un tamaño de 25 X 23 X 9 milímetros y su precio suele ser inferior a los 30 USD.

Debido a las altas capacidades de este conjunto y su relativo bajo precio si se compara con dispositivos similares la han hecho factible para aplicaciones que requieran de procesamiento de imágenes en tiempo real.

Tal es el caso de la investigación presentada en (Anandhalli and Baligar, 2018) donde emplean dicho hardware para desarrollar un sistema de seguimiento de vehículos en tiempo real, para lo cual desarrollan un software en C++ que emplea la biblioteca dedicada al procesamiento de imágenes *OpenCV* (*Open Computer Vision*, en idioma ingles). Además, este software permite el conteo de los vehículos que circulan en una

carretera o área dada en un instante de tiempo determinado. En el mismo ámbito se desarrolla la investigación presentada en (Abirami and Jasmine, 2018) donde se desarrolla un sistema para la detección de las matrículas de los autos empleando la misma biblioteca dedicada al procesamiento de imágenes.

Por otra parte, en (Dimililer and Kiani, 2017) se crea un sistema que permite, mediante redes neuronales, detectar la presencia online de plantas de maíz. En este caso en particular hacen uso de la versión anterior de la serie *Raspberry*, es decir, la *Raspberry Pi 2*.

Obtención de las imágenes de cultivo mediante la PiCamera

Las imágenes empleadas en el experimento fueron tomadas a plantas de café en diferentes estados de crecimiento y en ambientes naturales, donde se evidencia las variaciones en la iluminación natural con que tiene que interactuar un sistema en tiempo real para este tipo de aplicación. En este tipo de ambiente cuando se usa la proyección horizontal es usual también ver otras plantas de la propia especie sembradas en surcos diferentes, u otro tipo de vegetación que posee colores similares a la planta de interés.

Las imágenes adquiridas fueron tomadas con una resolución de 960 X 1280 píxeles en espacio de color RGB con datos de 8 bits sin signo por canal, y archivadas en formato png (*Portable Network Graphic, en idioma ingles*). Para ello se emplearon, en diferentes momentos, algoritmos desarrollados en C++ y *Python*, utilizando la biblioteca de procesamiento de imagen *OpenCV 3.2* instalada sobre sistema operativo *Raspbian*.



Figura 3. Imágenes adquiridas en plantaciones de café con la *PiCamera*.

3. Resultados y discusión

3.1. Métodos de detección de plantas basados en los índices de color

A partir de obtener las imágenes iniciales existe una serie de pasos hasta obtener el resultado esperado. Las metodologías propuestas por diversos autores tienen puntos de similitud entre ellas, como es el paso inicial en el que se plantea que estas imágenes pueden necesitar algún tipo de pre-procesamiento como puede ser: acrecentamiento del contraste y reducción del ruido (Hamuda et al., 2016), además de reducción del tamaño

de las imágenes, normalización y transformación de espacio de color (Wang et al., 2019), entre otras.

Para los resultados expuestos aquí solo se aplicó la transformación de espacios de color, lo cual es considerado como otra manera de poder realizar la detección de plantas por lo que se exponen los resultados en el siguiente epígrafe.

Los métodos más sencillos para la detección de plantas, los basados en color, fueron los empleados en esta investigación. Estos métodos basan su procedimiento en manipular de manera independiente los canales rojo, verde y azul de las imágenes adquiridas para de esta manera construir imágenes en escala de grises donde resalten las características de interés. Estos métodos son ideales para aplicaciones prácticas pues no requieren de gran procesamiento de cálculo comparados con aquellos más complejos que requieren aprendizaje o técnicas más complejas.

Los métodos basados en color empleados en la presente investigación se encuentran en la Tabla 1, los cuales se encuentran expuestos en (Hamuda et al., 2016; Sabzi et al., 2017; Wang et al., 2019). En este caso el software de procesamiento utilizado fue el *MatLab 2017b*.

Tabla 1. Fórmulas de los métodos basados en color.

<i>Índice basado en color</i>	<i>Fórmula matemática</i>	<i>Método de Umbral</i>
ExG	$2 * G - R - B$	<i>Otsu</i>
ExR	$1.4 * R - G$	<i>Otsu</i>
ExGR	$ExG - ExR$	<i>Otsu</i>
NDI	$128 * \left[\frac{G - R}{G + R} + 1 \right]$	<i>Otsu</i>
CIVE	$0.441 * R - 0.811 * G + 0.385 * B + 18.78745$	<i>Otsu</i>
NGRDI	$\frac{G - R}{G + R}$	<i>Otsu</i>
VEG	$\frac{G}{R^x * B^{(1-x)}} ; \text{con } x = 0.667$	<i>Otsu</i>
MExG	$1.262 * G - 0.884 * R - 0.311 * B$	<i>Otsu</i>
COM1	$0.25 * ExG + 0.33 * CIVE + 0.30 * ExGR + 0.12 * VEG$	<i>Otsu</i>
COM2	$0.36 * ExG + 0.47 * CIVE + 0.17 * VEG$	<i>Otsu</i>

Como se puede apreciar e inferir de la tabla existe una gran cantidad de posibilidades de combinar dichos métodos con diferentes algoritmos de umbralado, lo cual será fruto de futuras investigaciones. En la presente investigación se emplea el método de *Otsu*, el cual es uno de los más empleados en este tipo de aplicación.

En las figuras que se presentan a continuación se observa la aplicación de una selección de los métodos basados en color a diferentes imágenes adquiridas durante los experimentos, y en las cuales se evidencian diferentes condiciones de iluminación.



Figura 4a. Imagen original



Figura 4b. ExG



Figura 4c. ExG+Otsu



Figura 4d. Imagen resultante



Figura 4e. MExG



Figura 4f. MExG+Otsu



Figura 4g. Imagen resultante



Figura 4h. COM1



Figura 4i. COM1+Otsu



Figura 4j. Imagen resultante

Una vez aplicados los métodos basados en color a las diferentes imágenes es ventajoso aplicar métodos de umbral para la binarización de las imágenes, proceso que depende en gran medida del tipo de cultivo que se está analizando y de las condiciones de iluminación presentes en el lugar donde se toman las imágenes. Este proceso puede causar que se discrimine información útil de la imagen, o que por el contrario, se muestre más contenido del necesario. Por lo que el proceso de seleccionar adecuadamente los límites de umbral es una cuestión que demanda de tiempo y de varias iteraciones para su selección.



Figura 5a. Imagen original



Figura 5b. ExG



Figura 5c. ExG+Otsu



Figura 5d. Imagen resultante



Figura 5e. MExG



Figura 5f. MExG+Otsu



Figura 5g. Imagen resultante



Figura 5h. COM1



Figura 5i. COM1+Otsu



Figura 5j. Imagen resultante

Se puede apreciar mediante las imágenes expuestas anteriormente que, como resultado de los métodos empleados, la imagen luego de umbralada resalta más área que la que ocupa la planta de interés que se encuentra en primer plano. Esto se debe al fondo tan complejo que rodea a la planta de interés pues en su mayoría se encuentra compuesto por follaje de otras plantas (sean o no de la misma especie) que también están compuestos por diferentes tonalidades de verde, cosa que da al traste con identificar a la planta que se encuentra en primer plano.

Como anotación adicional se puede decir que el método *ExG* brinda resultados ligeramente mejor que la mayoría de los métodos, pues es un método que ha brindado buena adaptabilidad en ambientes naturales (Wang et al., 2019).

3.2. Métodos de detección de plantas basados en cambio de espacio de colores

Varios autores plantean la idea de emplear espacios de colores alternativos al espacio de color RGB, para reducir o eliminar dificultades que pueden presentarse en dicho espacio.

Como muchas de las transformaciones del espacio RGB a otros espacios son no lineales (Hernández-Hernández et al., 2016); y la mayoría de las cámaras son nativas en el espacio RGB, es usual que gran de los investigadores apuesten por el empleo de ese espacio y de los índices basados en color.

Las fórmulas para la conversión desde el espacio RGB a los diferentes espacios de colores empleados en la presente investigación se encuentran expuestos en (Sabzi et al., 2017); además de que se emplearon las funciones implementadas ya en el propio software *MatLab* que también realizan las funciones de conversión a otros espacios de colores. Una descripción detallada de las fórmulas que pueden ser empleadas en dicho proceso de transformación puede ser encontrado también en (Wang et al., 2019) .

Dentro de los espacios de colores que se emplean en el universo de la detección de plantas se encuentran los espacios HSV (BAWEJA et al., 2017), y HSI (Ruiz-Ruiz et al., 2009), (Zheng et al., 2009) pues ofrecen robustez ante variaciones en la luminosidad en el terreno (BAWEJA et al., 2017). Las investigaciones en este punto indican en su mayoría aplicar algoritmo de umbralado en uno o varios canales luego de la transformación, usualmente los canales H y S, lo que dejaría una imagen binaria resultante donde se destaca, en estos casos, el contorno de las plantas, tal como se muestra en las Figura 7 y 8 donde se ha empleado solamente el canal H, al cual se le ha aplicado el método de Otsu.



Figura 6a. Imagen original



Figura 6b. Canal S+Otsu

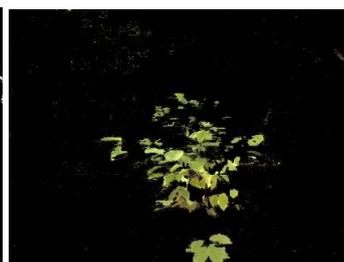


Figura 6c. Imagen resultante



Figura 7a. Imagen original



Figura 7b. Canal S+Otsu



Figura 7c. Imagen resultante

Como se puede apreciar en las imágenes la selección del valor de umbral es muy importante, pues puede provocar que no se eliminen todos los elementos no deseados de la imagen o se elimine demasiado, como se muestra en la Figura 8. Por supuesto, la selección de este valor de umbral depende mucho del tipo de cultivo con el cual se está trabajando.

Otras conversiones entre espacios de color sugieren manipular los nuevos canales como se hace con los canales del espacio RGB, realizando operaciones matemáticas entre ellas tratando de identificar las plantas. Ejemplo de ellos puede verse en las Figuras 9 y 10 donde se emplea el espacio de color YCgCr, variante del conocido YCbCr (Liao et al., 2018), donde una vez convertida a ambos nuevos espacios de color se aplicaron las siguientes formulas:

$$I_1 = 0.9 * (Cg - Cr) + 0.1 * (Cg - Cb) \quad (1)$$

$$I_2 = 2 * Cg - Cr - Cb \quad (2)$$

Para luego aplicársele el umbral de Otsu.



Figura 8a. Imagen original



Figura 8b. I1+Otsu



Figura 8c. Imagen resultante



Figura 8b. I2+Otsu



Figura 8c. Imagen resultante

A pesar de brindar una imagen donde se describan principalmente los componentes que pertenecen al suelo, siguen apareciendo en la imagen parte de las plantas que se encuentran a una distancia considerable de las plantas de interés, aspecto apreciado anteriormente con otros métodos pues el objetivo es destacar lo verde en las imágenes adquiridas.

Esta situación de eliminar la vegetación que se encuentra en segundo es un problema que no se logra resolver el cambio a otros espacios de colores, por lo que investigaciones futuras se deben dedicar a resolver este problema.

4. Conclusiones

Es factible la adquisición de imágenes mediante el hardware *Raspberry Pi 3 Model B+* y la cámara *Raspberry Pi Camera Module V2*, haciendo empleo de la biblioteca de procesamiento de imágenes OpenCV, en ambientes exteriores para aplicaciones de agricultura de precisión donde se requiera la detección de plantas, pudiendo llegar luego a un análisis posterior de las mismas.

Al emplear los métodos más sencillos reportados en la literatura, dígame índices basados en color y transformaciones entre espacios de color, para la detección de plantas en imágenes agrícolas es muy importante seleccionar correctamente el valor de umbral a emplear para la binarización; pues de este valor depende que se descarte o no parte útil de la información contenida en las mismas.

Las imágenes adquiridas por dicho hardware cuando se emplea una proyección horizontal necesitan de un algoritmo que discrimine entre la planta de interés que se encuentra en primer plano y las que se encuentran en segundos planos, las cuales no son de interés; debido a que los métodos basados en color y en transformaciones del espacio de color son incapaces de encontrar dichas diferencias.

5. Referencias bibliográficas

- Abirami, N., Jasmine, J.L., 2018. ACCURATE VEHICLE NUMBER PLATE REGOGNITION AND REAL TIME IDENTIFICATION USING RASPBERRY PI.
- Anandhalli, M., Baligar, V.P., 2018. A novel approach in real-time vehicle detection and tracking using Raspberry Pi. *Alex. Eng. J.* 57, 1597–1607.
- BAWEJA, H.S., Parhar, T., Nuske, S., 2017. Early-season vineyard shoot and leaf estimation using computer vision techniques, in: 2017 ASABE Annual International Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”



- Dimililer, K., Kiani, E., 2017. Application of back propagation neural networks on maize plant detection. *Procedia Comput. Sci.* 120, 376–381.
- García-Santillán, I., Guerrero, J.M., Montalvo, M., Pajares, G., 2018. Curved and straight crop row detection by accumulation of green pixels from images in maize fields. *Precis. Agric.* 19, 18–41.
- García-Santillán, I.D., Pajares, G., 2018. On-line crop/weed discrimination through the Mahalanobis distance from images in maize fields. *Biosyst. Eng.* 166, 28–43.
- Guijarro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P.J., Burgos-Artizzu, X.P., Ribeiro, A., 2011. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Comput. Electron. Agric.* 75, 75–83.
- Hamuda, E., Glavin, M., Jones, E., 2016. A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Comput. Electron. Agric.* 125, 184–199.
- Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquiva, J.M., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., Molina-Martínez, J.M., 2016. Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 122, 124–132.
- Jenkins, M., Kantor, G., 2017. Online detection of occluded plant stalks for manipulation, in: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, pp. 5162–5167.
- Kazmi, W., Garcia-Ruiz, F.J., Nielsen, J., Rasmussen, J., Andersen, H.J., 2015. Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. *Comput. Electron. Agric.* 112, 10–19.
- Liao, J., Wang, Y., Yin, J., Liu, L., Zhang, S., Zhu, D., 2018. Segmentation of Rice Seedlings Using the YCrCb Color Space and an Improved Otsu Method. *Agronomy* 8, 269.
- Milioto, A., Lottes, P., Stachniss, C., 2018. Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in cnns, in: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, pp. 2229–2235.
- Montalvo, M., Guerrero, J.M., Romeo, J., Emmi, L., Guijarro, M., Pajares, G., 2013. Automatic expert system for weeds/crops identification in images from maize fields. *Expert Syst. Appl.* 40, 75–82.
- Pajares, G., García-Santillán, I., Campos, Y., Montalvo, M., Guerrero, J., Emmi, L., Romeo, J., Guijarro, M., Gonzalez-de-Santos, P., 2016. Machine-vision systems selection for agricultural vehicles: A guide. *J. Imaging* 2, 34.
- Pérez-Ruiz, M., Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernández-Quintanilla, C., Peruzzi, A., Vieri, M., Tomic, S., Agüera, J., 2015. Highlights and preliminary results for autonomous crop protection. *Comput. Electron. Agric.* 110, 150–161.
- Raspberry Pi, 2018a. Raspberry Pi 3 Model B. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus>
- Raspberry Pi, 2018b. Camera Module. <https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>
- Ruiz-Ruiz, G., Gómez-Gil, J., Navas-Gracia, L.M., 2009. Testing different color spaces based on hue for the environmentally adaptive segmentation algorithm (EASA). *Comput. Electron. Agric.* 68, 88–96.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



- Sabzi, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., Javadikia, H., 2017. Machine vision system for the automatic segmentation of plants under different lighting conditions. *Biosyst. Eng.* 161, 157–173.
- Wang, A., Zhang, W., Wei, X., 2019. A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Comput. Electron. Agric.* 158, 226–240.
- Ye, M., Cao, Z., Yu, Z., Bai, X., 2015. Crop feature extraction from images with probabilistic superpixel Markov random field. *Comput. Electron. Agric.* 114, 247–260.
- Zhang, X., Li, X., Zhang, B., Zhou, J., Tian, G., Xiong, Y., Gu, B., 2018. Automated robust crop-row detection in maize fields based on position clustering algorithm and shortest path method. *Comput. Electron. Agric.* 154, 165–175.
- Zheng, L., Zhang, J., Wang, Q., 2009. Mean-shift-based color segmentation of images containing green vegetation. *Comput. Electron. Agric.* 65, 93–98.