

IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN EL CACAO USANDO ANÁLISIS DE IMÁGENES

IDENTIFICATION OF NUTRITIONAL DEFICIENCIES IN THE COCOA USING IMAGEN PROCESSING

Javier Andrés Piñeres Arciniegas, Especialista en control e instrumentación industrial, SENA Centro industrial de mantenimiento integral (CIMI), Semillero de Innovación Electrónica (SIEC).

Anni Katherine Carreño, aprendiz de mantenimiento equipo biomédico, SENA Centro industrial de mantenimiento integral (CIMI), Semillero de Innovación Electrónica (SIEC), akcarreno51@misena.edu.co

Lusvin Javier Amado Forero, Magíster en ingeniería electrónica(c), SENA Centro industrial de mantenimiento integral (CIMI), Semillero de Innovación Electrónica (SIEC).

Leonardo Cordero Carrillo, Ingeniero electrónico, SENA Centro industrial de mantenimiento integral (CIMI), Grupo de Investigación I+DEA.

Resumen

La producción y productividad del cacao es una oportunidad económica y una necesidad social en Santander, Colombia. Para tomar decisiones efectivas, identificar y clasificar el tipo y las características nutricionales del cultivo hay que tener en cuenta las necesidades económicas y ambientales de la provincia. La distribución del cultivo y la identificación de las características de la planta, se analizaron mediante adquisición de imágenes de sus hojas, estas fueron procesadas por técnicas computacionales que involucran la identificación de características a través del tratamiento digital de imágenes en el *Centro de Servicio Agrícola del SENA*. El software permite una adecuada identificación en las deficiencias nutricionales de la planta (nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, magnesio, azufre) en las diferentes imágenes. En este trabajo, se desarrolló un algoritmo de segmentación e identificación a través del uso de la herramienta de procesamiento de imágenes de MatLab, que clasifica las pigmentaciones presentes en los cultivos.

Palabras Claves—Agricultura, Cacao, Procesamiento de imágenes.

Abstract:

The production and productivity of cocoa is an economic opportunity and a social necessity in Santander, Colombia. In order to make effective decisions, identify and classify the type and nutritional characteristics of the crop, the economic and environmental needs of the province must be taken into account. The distribution of the crop and the identification of the

characteristics of the plant, were analyzed by acquiring images of their leaves, these were processed by computational techniques that involve the identification of characteristics through the digital processing of images in the Agricultural Service Center of the SIGN. The software allows an adequate identification in the nutritional deficiencies of the plant (nitrogen, calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sulfur) in the different images. In this work, a segmentation and identification algorithm were developed through the use of MatLab's image processing tool, which classifies the pigmentations present in crops.

1. Introducción

Colombia se encuentra en una etapa muy importante de desarrollo, debido a la creciente demanda de los productos agrícolas por parte de los consumidores internacionales, esto impulsa a la implementación nuevas tecnologías para aumentar la productividad y mejorar los estándares de calidad en los productos que se exportan.

El cacao, es un producto natural lleno de una gran variedad de nutrientes, sus derivados son competitivos internacionalmente, la preferencia por este de origen colombiano es debido a que la ubicación del suelo presenta propiedades especiales de acidez que brindan texturas, aromas y sabores característicos que identifican al país como una creciente dominante en los sectores de agricultura internacional (Sánchez-Mora et al., 2015).

El crecimiento de tal sector económico ante el mundo demuestra que este producto tiene potencial. Para el año 2017, *“la producción de cacao en Colombia llegó a 60.535 toneladas, lo que significa un incremento de 6,6 % frente a la producción del 2016, cuando se llegó a 56.785 toneladas.”* (PORTAFOLIO, 2018) asegura Fedecacao. Además *“El dirigente gremial señaló que, gracias al trabajo entre el Ministerio de Agricultura y el Consejo Nacional Cacaotero, el país logró avanzar en materia cacaotera al punto que la industria se puede abastecer con solo materia prima nacional”*

(PORTAFOLIO, 2018). En el mercado exterior, el cacao es altamente valorado, *“al ser un cacao fino de sabor y aroma, características que solo posee el 5% de la oferta mundial”*, por lo tanto, vale la pena apoyar este sector con la implementación e inversión de tecnologías. (PORTAFOLIO, 2018).

El precio y la calidad de un producto agrícola, depende del estado en que está la planta frente a los nutrientes que adquiere del ambiente donde se encuentra (suelo, aire y agua) en su proceso de crecimiento y desarrollo. Es dificultosa la observación y determinación de las cantidades de nutrientes que la planta pueda adquirir del ambiente, ya que las partículas de los minerales se asemejan al polvo disuelto en agua o se adhieren a cada fragmento de la tierra (Dand & Dand, 2011).

Existen dos tipos de nutrientes: los macronutrientes, necesarios en grandes cantidades, y los micronutrientes, necesarios en cantidades pequeñas (David Parra-González, Rodríguez-Valenzuela, Panitsa, & white, 2017). Los tres grandes: nitrógeno, fósforo y potasio, representan juntos más del 75% de los nutrientes minerales que se encuentran en la planta (A. J. Peel, 1974).

En total son 13 nutrientes que son necesarios para el correcto desarrollo de una planta sana y fuerte, si llegase a faltar alguno de ellos, es notable el debilitamiento y falta de crecimiento que esta presenta, y es alta la vulnerabilidad que se tiene a enfermedades

que pueden llegar a ser fatales para el cultivo. La observación del estado físico de la planta es primordial para desempeñar una investigación minuciosa y determinar sus falencias. Para tal fin, es necesario enfocarse en el estado de las hojas, el tallo y las raíces, y estos ser sometidos a investigación en un laboratorio para determinar su estado, tomando de referencia los valores propios en la composición de su especie sana. Si no se conocen los valores, los ensayos con fertilizantes podrían revelar que hace falta (A. J. Peel, 1974). Según el *Centro Mundial de Agroforestería*, específicamente en el cacao los síntomas comunes de deficiencias de nutrientes son el Potasio, Calcio, Magnesio, Nitrógeno, Azufre y el fósforo (Rucker, s. f.).

En el procesamiento de imágenes, la segmentación se convierte en el primer paso y uno de los principales, influyendo directamente en el rendimiento de otros procesos posteriores. Operaciones tales como identificación y clasificación pueden ser realizadas automáticamente después de la segmentación de la imagen. En el software Matlab se pueden encontrar tres métodos diferentes para separar regiones de interés (ROI) del fondo. Cómo el método basado en bordes, umbrales y regiones, registrado por Sonka et al (Sonka, Hlavac, & Boyle, 1999). Si hay discontinuidad en el nivel de intensidad el método basado en el borde es el ideal a utilizar, técnicas como Sobel, Canny, Laplacian y Prewitt se usan a menudo para este propósito. El método por umbral es uno de los más utilizados en segmentación de imágenes por su simplicidad en la aplicación, requiere de luz casi constante o uniforme. Cuatro métodos básicos para elegir el umbral incluyen algoritmo isodata, función objetivo, selección manual y clustering por histogramas evidencias por Zheng et al (Zheng & Sun, 2008). También la técnica

Fuzzy se ha utilizado para elegir el umbral tal como lo registra Tobias et al (Tobias & Seara, 2002). Finalmente, los métodos basados en la región se usan principalmente para clasificar pixeles similares usando sus características en un grupo por Brosnan et al (Brosnan & Sun, s. f.).

El trabajo de autores en los últimos años ha sido apoyado en herramientas como el procesamiento de imágenes y la segmentación, aplicándolas a la discriminación de productos de tipo agrícola, como la Tellaeche et al (Tellaeche, Burgosartizzu, Pajares, Ribeiro, & Fernandez-Quintanilla, s. f.), se aplicaron tales técnicas a un cultivo de cebada en tres etapas: como primera medida, se toma una imagen a color (canales RGB) y se traduce a escala de grises obtenida desde la combinación lineal de los 3 canales. El resultado se transforma mediante la binarización en una imagen que torna solo el blanco y negro, en esta, la capa vegetal se aísla del resto (suelo desnudo, sombras, paja, etc.). El paso por seguir es, la identificación de dos tipos de pixeles, los primeros, que corresponden a las hileras del cultivo, y los pixeles restantes, se toman en cuenta como las zonas donde se presenta mala hierba.

Arias y Sierra (A & J., 2016), recortaron la imagen de un grano de café cambiando el espacio de color RGB a una escala de grises, luego buscaron el umbral de binarizado por el método Otsu y binarizaron la imagen, por último, obtuvieron la frontera de la imagen binarizada y recortaron. El proceso de segmentación se llevó a cabo mediante la herramienta de *Matlab* <<Color Thresholder>>, la cual mediante el uso de histogramas y dependiendo del espacio de color requerido, permite al usuario definir los valores de umbrales para cada

histograma de la imagen y así segmentar los colores deseados.

Este trabajo describe un algoritmo para la identificación y clasificación de los parámetros nutricionales del cacao mediante el procesamiento de imágenes de las hojas de la planta, a partir de la forma y el color. Este informe describe el algoritmo de segmentación, la medición del rendimiento del algoritmo en un conjunto de 32 imágenes y análisis del rendimiento. La sección 2 describe los materiales y métodos utilizados para el desarrollo del algoritmo. La sección 3 contiene los resultados experimentales y las secciones posteriores la discusión de los resultados y las conclusiones.

2. Materiales y métodos

A. Adquisición de las imágenes

Las imágenes fueron tomadas de la sede del municipio del playón, Santander. Adscrito al Centro de Atención al Sector Agropecuario C.A.S.A, en donde se tomaron aleatoriamente 32 hojas de cacao C-Clon 51. Para la toma de la imagen se utilizó una cámara samsung de 14 Mega pixeles a una distancia de 40 cm de alto desde la hoja, sin flash automático, para la fuente de luz se implementó una lampara de luz led blanca de 3.5 W/h la cual dirigía su iluminación al fondo cuadrado de 21,59 cm de ancho por 35,56 cm de alto. Posteriormente se almacenaron las imágenes en una memoria USB para su posterior proceso el cual se realizó haciendo uso de la toolbox de procesamiento de imágenes del software MatLab 2017a. las etapas del acondicionamiento y procesamiento de las imágenes se describe en el siguiente literal.

B. Acondicionamiento de las imágenes

La estrategia utilizada para el acondicionamiento de las imágenes se muestra en la Fig. 1, donde inicialmente el espacio de color RGB de las imágenes de las hojas de cacao fue transformado a una escala de grises, luego, teniendo en cuenta que la luz era casi constante y uniforme se aplicó el método Otsu para determinar el umbral, posteriormente, se binarizó la imagen teniendo en cuenta este umbral, por último, se obtuvo la frontera de la imagen binarizada y se recortó.



Fig. 1 Pasos para el acondicionamiento de las imágenes

C. Segmentación de las imágenes

El proceso de segmentación se llevó a cabo mediante la herramienta de Matlab <<Color Thresholder>>, la cual mediante el uso de histogramas y dependiendo del espacio de color requerido, permite al usuario definir los valores de umbrales para cada histograma de la imagen y así segmentar los colores deseados, de esta forma se crea una máscara de color en la imagen de entrada y a la salida se obtienen los colores deseados.

Figura 3. Imágenes escala de grises de una hoja de cacao (a) normal, (b) potasio, (c) nitrógeno, (d) magnesio, (e) calcio, (f) azufre.

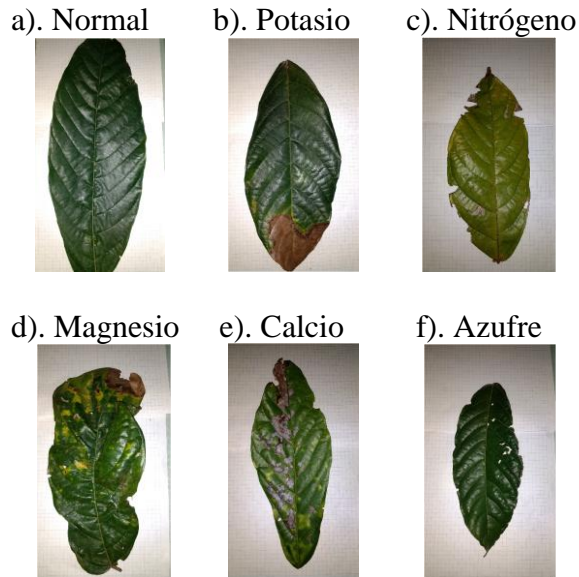


Figura 2. Imágenes en RGB de una hoja de cacao (a) normal, (b) potasio, (c) nitrógeno, (d) magnesio, (e) calcio, (f) azufre.

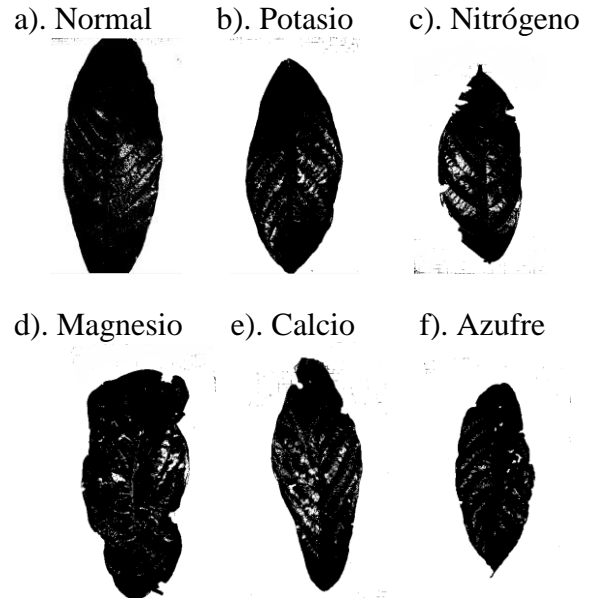


Figura 4. Imágenes binarizada con umbral determinado de una hoja de cacao (a) normal, (b) potasio, (c) nitrógeno, (d) magnesio, (e) calcio, (f) azufre.

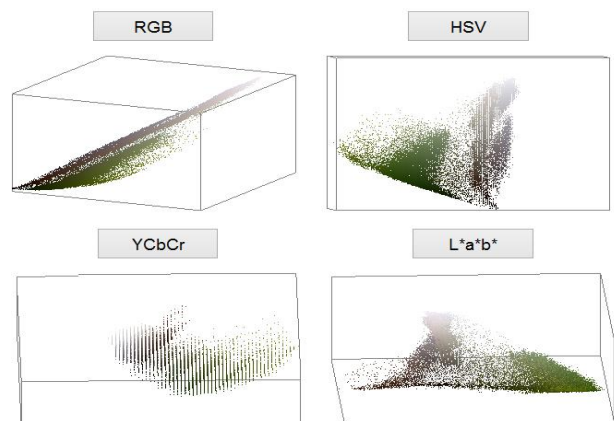
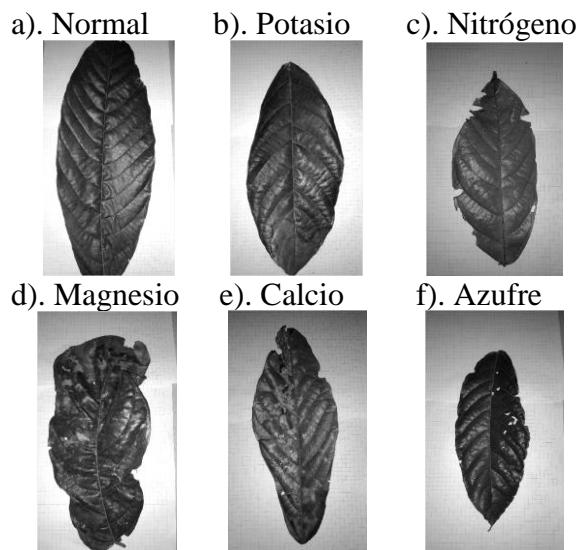


Figura 5. Espacios de Colores para la hoja de Cacao con deficiencias en Calcio

3. Resultados y Discusión



De acuerdo a los parámetros y características establecidas en la clasificación de las deficiencias nutricionales realizadas por Fedecacao y worldagroforestry se utilizó la herramienta Color Thresholder para poder segmentar la imagen mediante umbrales, se define que la forma de evaluar el color de las hojas es generar diferentes algoritmos para cada deficiencia nutricional con diferentes máscaras, cada uno de estos algoritmos filtrará una cantidad N de pixeles, este número se comparará con el número de pixeles totales de la hoja guía, es decir su área total, obtenido como resultado del porcentaje de pixeles no filtrados, como se indica en la Eq. (1)

$$\%PNF = PNF/PT * 100$$

Eq: (1)

Donde PNF es el número de pixeles de la hoja que no fueron filtrados por la máscara y PT es el número de pixeles del área total de la imagen guía de la hoja.

En los algoritmos para las deficiencias nutricionales de Nitrógeno, Azufre y hojas sin deficiencias (Normal) se detectará principalmente la clorolisis (color amarillo, verde-amarillo) y la reducción del área de la lámina foliar, es decir que, si la hoja de cacao cumple con alguna de las características mencionadas, el algoritmo dejará pasar muy pocos pixeles. Para los algoritmos de Calcio, Potasio y Magnesio se implementó además del color, el secamiento de bordes y áreas de la hoja. Para cumplir con este objetivo se vio la necesidad de cambiar de espacio de color, debido a que con RGB no se pudo filtrar de manera adecuada, por lo cual se decidió usar el espacio de color YCbCr, como se muestra en la fig. 6

c)

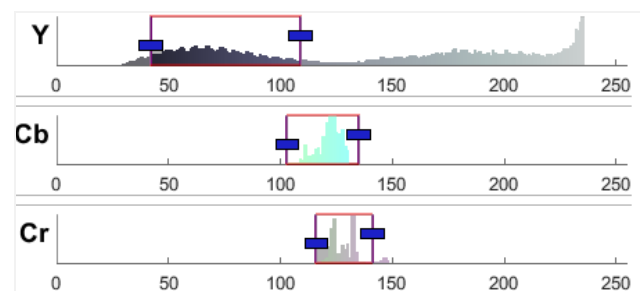


Figura 6. a) Máscara para la imagen de la hoja guía con deficiencia de Calcio, b) Imagen binarizada, c) Histograma en el espacio YCbCr

Para la fase de entrenamiento se seleccionaron 4 hojas por cada deficiencia nutricional, se determinaron los umbrales y la máscara, luego se determinaron los límites de umbralización con las medias y desviaciones estándar que se muestra en la tabla 1. Por último, se calculaban la cantidad de pixeles que estaban dentro de los límites de umbralización y se clasificaba la deficiencia.

Nutritional deficiencias	Means (pixels)	Standard Deviations
Calcium (Ca)	1179.5	220.52
Potassium (K)	501.4	94.22
Magnesium (Mg)	679.4	130.5
Sulfur (S)	445.4	95.4
Nitrogen (N)	552	8.84
Normal	1704.3	89.7

Tabla 1. Promedios y desviaciones estándar

Una vez procesadas las 32 hojas de cacao en el algoritmo, se presentan los porcentajes de hojas detectadas por cada deficiencia

nutricional, como se observa en la fig. 7. Los resultados muestran que el rendimiento del algoritmo de segmentación varía dependiendo de los datos de la imagen y los parámetros a clasificar.

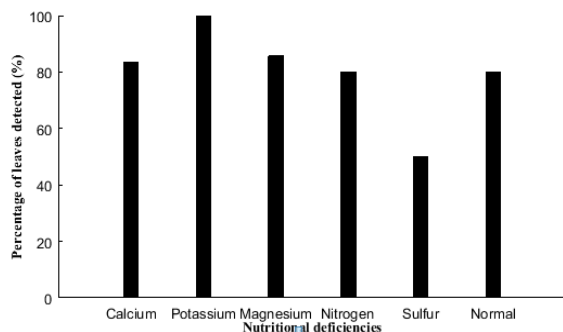


Figura 7. Percentage of leaves detected

La Fig. 7 muestra que, el algoritmo de segmentación clasificó correctamente un promedio del 81% de los píxeles de las deficiencias nutricionales en las hojas de cacao. En algunos casos el algoritmo detectó más de una deficiencia en una sola hoja, lo que hace necesario incluir parámetros que categoricen las proporciones de las deficiencias nutricionales detectadas.

El método de identificación y clasificación como el que se usó en este trabajo es propenso a errores causados por poblaciones de entrenamiento desequilibradas. Se necesita un número mayor de imágenes para cada deficiencia de un tipo de planta a otro, donde se puedan identificar y evaluar otras características.

4. Conclusiones

En este estudio, se propuso y evaluó un método para identificar y clasificar deficiencias nutricionales en imágenes de hojas de cacao basado en el procesamiento de imágenes. Los resultados para los diferentes algoritmos de segmentación mostraron un porcentaje de detección mayor al 80% para las deficiencias excepto para el azufre que fue del 50%.

Mediante el uso de la herramienta <<Color Thresholder>> de MATLAB se permite encontrar el espacio de color que marque diferencias entre clases y, además, facilita encontrar los umbrales para cada una de las deficiencias nutricionales, también, se evidenció qué características de coloratura y morfología son similares en ciertas deficiencias nutricionales, además, es posible que en una hoja se presente más de una deficiencia.

Debido a que las características morfológicas y de coloratura "correctas" para una deficiencia nutricional en particular en cada etapa de desarrollo tendrían que ser conocidas antes de que el algoritmo pueda ser utilizado para identificar una desconocida, se propone un método basado en una red neuronal que aprenda sin la intervención del usuario y clasifique con mayor precisión.

5. Referencias.

- A. J. Peel. (1974). Transport of Nutrients in Plants. En *Transport of Nutrients in Plants* (pp. 222-242). Butterworth Heinemann.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-408-70558-5.50017-7>
- A, A., & J., S. (2016). PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA CLASIFICACIÓN DE CAFÉ. Recuperado a partir de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21450/AriasMartaMmanuelAlejandro2016.pdf?sequence=1>
- Brosnan, T., & Sun, D.-W. (s. f.). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00183-3)
- Dand, R., & Dand, R. (2011). Quality assessment of cocoa beans for



- international trade. *The International Cocoa Trade*, 219-267.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-125-3.50008-2>
- David Parra-González, S., Rodríguez-Valenzuela, J., Panitsa, M., & white, J. (2017). Determination of the Soil Quality Index by Principal Component Analysis in Cocoa Agroforestry System in the Orinoco Region, Colombia. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 10(3), 31346.
<https://doi.org/10.9734/JAERI/2017/31346>
- PORTAFOLIO. (2018). Producción de cacao colombiano creció 6,6% en 2017 | Economía | Portafolio. Recuperado 25 de enero de 2018, a partir de <https://www.portafolio.co/economia/produccion-de-cacao-colombiano-crecio-6-6-en-2017-513611>
- Rucker, R. (s. f.). Appendix 10: Nutritional Properties of Cocoa. En *Chocolate* (pp. 943-946). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1002/9780470411315.app10>
- Sánchez-Mora, F. D., Medina-Jara, S. M., Díaz-Coronel, G. T., Ramos-Remache, R. A., Vera-Chang, J. F., Vásquez-Morán, V. F., ... Onofre-Nodari, R. (2015). *Revista fitotecnia mexicana publicada por la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Revista fitotecnia mexicana* (Vol. 38). Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000300005
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (1999). *Image Processing, Analysis, and Machine Vision Second Edition*. Recuperado a partir de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/26289952/cfai.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1520626745&Signature=rVJEi48dYF6CSvk%2B%2Fne8GhehDOE%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3Dimage_processing_analysis_and_machine
- Tellaeché, A., Burgosartizzu, X. P., Pajares, G., Ribeiro, A., & Fer Andez-Quintanilla, C. (s. f.). A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.07.008>
- Tobias, O. J., & Seara, R. (2002). Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Fuzzy Sets. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, 11(12).
<https://doi.org/10.1109/TIP.2002.806231>
- Zheng, C., & Sun, D.-W. (2008). Image Segmentation Techniques. En *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation* (pp. 37-56). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012373642-0.50005-3>