

# APLICACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN LA CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁREAS AGRÍCOLAS

Facundo Busano\*, Marco Miretti, Emanuel Bernardi, Hugo Pipino, Gastón Peretti

*Grupo de Investigación y Desarrollo Electrónico (GIDE)  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (UTN-FRSFCO)  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Argentina.*

---

## Resumen

En el presente trabajo se aborda el desarrollo e implementación de un sistema de acondicionamiento y posterior procesamiento de imágenes para la estimación de la cantidad y calidad de vegetación, así como la cuantificación de superficies inundadas. Para ello, se empleó el cómputo del índice de vegetación de diferencia normalizada y el índice de agua de diferencia normalizada, utilizando como elemento sensor una cámara web genérica, modificada para captar las porciones necesarias del espectro electromagnético.

Los experimentos realizados, en condiciones ambientales controladas, demuestran la factibilidad de implementación de dicho sistema en la estimación de la proporción de superficies inundadas y en la evaluación de la cantidad de vegetación.

*Palabras clave:* vegetación, infrarrojo, filtros, NDVI, NDWI.

---

## 1. Introducción

En los últimos años, la demanda de soluciones de bajo costo para la clasificación de zonas agrícolas se ha incrementado fuertemente en nuestra región. Entre otros ejemplos de estas aplicaciones se destacan la mensura de zonas inundadas, la cuantificación de maleza presente en los campos en período de barbecho, y el conocimiento del estado de salud de la vegetación cultivada.

En base a esta problemática, se planteó un sistema de procesamiento de imágenes de bajo costo capaz de estimar la cantidad y calidad de vegetación, así como el dimensionamiento de las superficies inundadas. Esto es, se propone trabajar con el cómputo del índice de vegetación de diferencia normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) que, respecto a índices más complejos, tiene como ventajas la sencillez de cálculo y la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación. La firma espectral de una cubierta vegetal saludable se caracteriza por el alto contraste entre las bandas rojo (645-700 nm) e infrarrojo cercano (800-850 nm), debido a que la primera es mayormente absorbida y la segunda prácticamente reflejada en su totalidad por las hojas con alto contenido de clorofila. Esta propiedad nos permite realizar una valoración cualitativa de la vegetación.

Por otra parte, la firma espectral del agua también posee un elevado contraste entre las bandas utilizadas para el cálculo del NDVI, aunque en este caso el rojo es reflejado y el infrarrojo cercano absorbido. Particularmente, en el caso del agua, resulta interesante el cómputo del índice de agua de diferencia normalizada (*Normalized Difference Water Index*,

---

\*Autor en correspondencia.

Correo electrónico: facundobusano@gmail.com (Facundo Busano)

NDWI) que a partir del análisis de las bandas verde, azul e infrarrojo cercano nos posibilita la interpretación de superficies inundadas.

Por último, para la adquisición de las componentes del espectro electromagnético necesarias en el cálculo de ambos índices, se modificó y extendió la capacidad de captura de una cámara digital genérica.

En la actualidad, existen trabajos de similar ámbito de aplicación aunque solo empleando el espectro visible [1], en tanto que otros autores plantean soluciones semejantes pero en diferentes aplicaciones y utilizando únicamente NDVI [2, 3], y también existen aquellos que buscan aplicar el NDVI y NDWI pero empleando imágenes satelitales [4].

Es de destacar, que este desarrollo es parte de dos proyectos de mayor alcance. Uno de los cuales consiste en la estimación de los tipos de cultivos y la calidad de los mismos, complementándose con un sistema de aplicación selectiva de herbicidas sobre malezas en períodos de barbecho. Paralelamente, otro de los proyectos implicados, aborda la estimación de la proporción de superficies inundadas en zonas de cultivo mediante una cámara montada sobre un vehículo aéreo no tripulado.

## 2. Índices de diferencia normalizada

La clorofila, pigmento que da color a las hojas y tallos, posee una gran absorción del espectro de luz visible, exceptuando el rango del color verde que es en parte reflejado. Por otro lado, las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano son reflejadas prácticamente en su totalidad [5].

La absorción de energía de las bandas azul y rojo, del espectro visible, permite que la vegetación genere sus propios nutrientes. Esto es, la absorción de energía en dichas bandas y una reflexión del infrarrojo cercano indica una vegetación saludable. En base a esta observación es posible cuantificar la salud de la vegetación utilizando el NDVI:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Rojo}}{\text{NIR} + \text{Rojo}} \quad (1)$$

Donde NIR y Rojo son las porciones del espectro reflejado en infrarrojo cercano y rojo, respectivamente. Los valores de NDVI cercanos a 1 representan la presencia de vegetación saludable, en cambio cuando estos son próximos a 0 estamos frente a vegetación en malas condiciones o muerta, y hacia -1 se trata de tierra o incluso cuerpos de agua.

Siguiendo un similar procedimiento se calcula otro importante índice de diferencia normalizada, el NDWI [6, 7], aplicable en la detección de superficies inundadas. El agua tiene la propiedad de reflejar muy sutilmente las longitudes de onda del espectro visible y absorber casi en su totalidad al infrarrojo cercano [8].

Este contraste es de gran utilidad para calcular el NDWI:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Verde} - \text{NIR}}{\text{Verde} + \text{NIR}} \quad (2)$$

Siendo NIR y Verde las porciones del espectro reflejado en infrarrojo cercano y verde, respectivamente. En contraste con el NDVI, los valores de NDWI cercanos a 1 representan cuerpos acuosos, disminuyendo hasta 0 según la profundidad de la misma, y valores próximos a -1 indican la presencia de vegetación.

## 3. Caracterización de la cámara

Para que sea posible el cómputo de los índices mencionados en § 2, es necesario que el dispositivo de captura reciba frecuencias NIR. Es por ello, que se retiró el filtro de infrarrojos presente en el objetivo de la cámara, que se muestra en la Fig. Fig. 1.

Además del filtro NIR, en el sensor CMOS de la cámara se encuentra el filtro Bayer, dispuesto como se observa en la Fig. 2 y compuesto por múltiples filtros R, G y B que permiten el paso de las bandas rojo, verde y azul, respectivamente. Por último, el elemento sensor se divide en tres canales, los cuales fueron caracterizados, obteniendo así, las curvas de su comportamiento frente a una fuente de luz respecto de su longitud de onda.

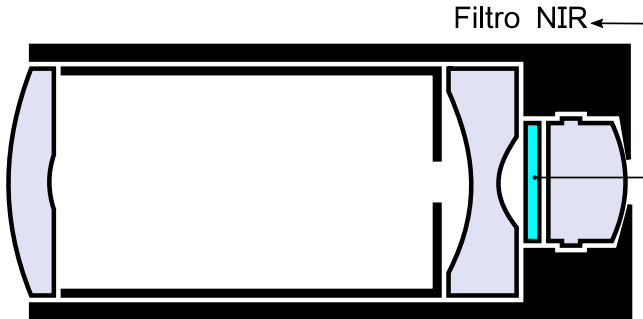


Figura 1: Objetivo de la cámara con filtro IR.

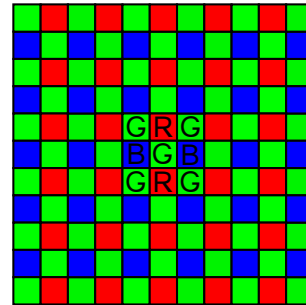


Figura 2: Filtro Bayer.

La caracterización se realizó a partir de la adaptación de un espectrofotómetro de la firma PASCO [9], reemplazando el sensor de intensidad luminosa por la cámara a caracterizar. De esta forma, en base al promedio de las intensidades recibidas por cada canal y la referencia en función de la longitud de onda brindada por el espectrofotómetro, se logró la respuesta que se visualiza en la Fig. 3.

Es de destacar, tal como se observa en la Fig. 3, que hacia las longitudes de onda superiores del espectro se encuentra presente el infrarojo cercano, de similar intensidad en los tres canales.

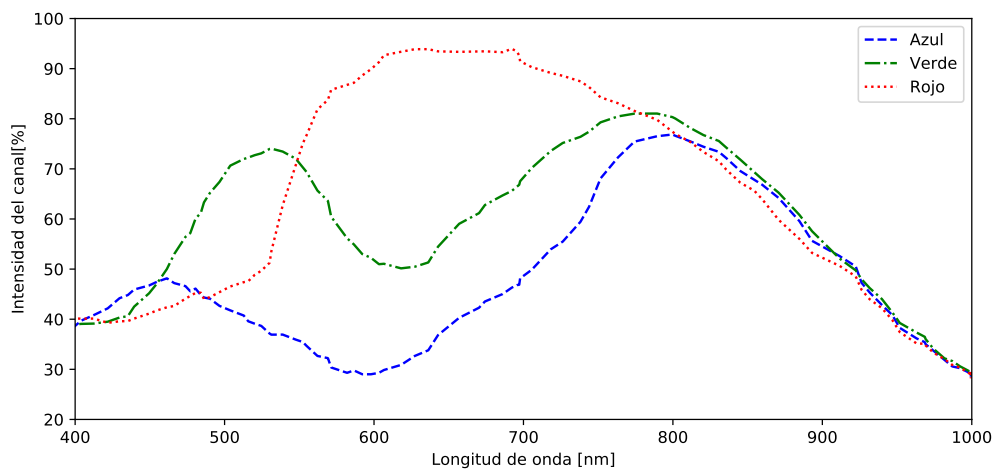


Figura 3: Caracterización de la cámara.

#### 4. Evaluación y selección de filtros

Cómo se presentó en § 2, para calcular los índices NDVI y NDWI se debe disponer de los canales NIR, Rojo y Verde por separado. Sin embargo, este método se encuentra fuera de nuestro alcance ya que implica la construcción de un nuevo filtro Bayer, compuesto por filtros específicos para los tres canales. En cambio, a partir de la observación de la respuesta de

la Fig. 3 vemos que cada canal está compuesto por:

$$R = \text{Rojo} + \text{NIR}; \quad G = \text{Verde} + \text{NIR}; \quad B = \text{Azul} + \text{NIR} \quad (3)$$

Por lo tanto, al colocar un filtro rojo, previo a que la imagen alcance el filtro de Bayer, se atenúan las bandas del verde y el azul transformando (3) en (4). Por otro lado, al interponer un filtro verde se transforma (3) en (5). Esto es,

$$R = \text{Rojo} + \text{NIR}; \quad G = \text{NIR}; \quad B = \text{NIR} \quad (4)$$

$$R = \text{NIR}; \quad G = \text{Verde} + \text{NIR}; \quad B = \text{NIR} \quad (5)$$

Una característica necesaria para que se cumpla (4) y (5) es que los filtros empleados permitan el paso del infrarrojo cercano. Es por ello, que se caracterizó en laboratorio una cierta cantidad de filtros que, tal como se muestra en la Fig. 4, confirman la transmitancia necesaria de las bandas infrarrojas.

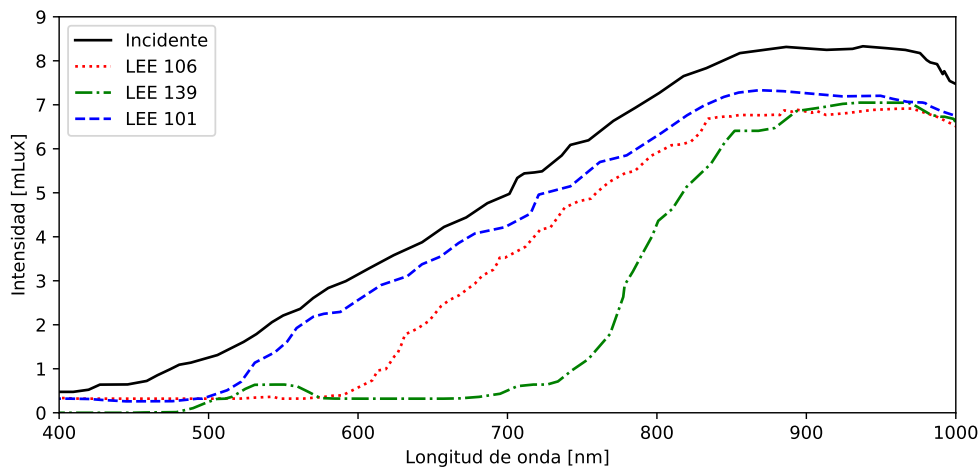


Figura 4: Caracterización de los filtros.

Por lo tanto, en base a esta propuesta, se obtienen los índices de diferencia normalizada:

$$\text{NDVI} = \frac{R - 2B}{R} \quad (6)$$

$$\text{NDWI} = \frac{2B - G}{G} \quad (7)$$

Siendo (6) y (7), mediante (4) y (5), equivalentes a (1) y (2), respectivamente. Por lo tanto, como se observa en (6) y (7), deja de ser necesario eliminar el canal verde en el cálculo del NDVI y de modo similar podemos conservar las longitudes de onda del canal rojo al computar el NDWI.

Como consecuencia de estas observaciones, mediante la utilización de un filtro amarillo se simplifica la selección de canales, ya que atenúamos las longitudes de onda no deseadas del canal azul.

## 5. Modificaciones de la cámara

Luego del análisis de la respuesta de más de 10 filtros, se evaluó el desempeño del sistema con los filtros LEE 106 (rojo primario) y LEE 139 (verde primario) para el cómputo del NDVI y del NDWI, respectivamente. Finalmente, se ensayo la cámara con el filtro LEE 101 (amarillo) y debido a su excelente desempeño se decidió emplearlo para calcular ambos índices, utilizando una sola cámara.

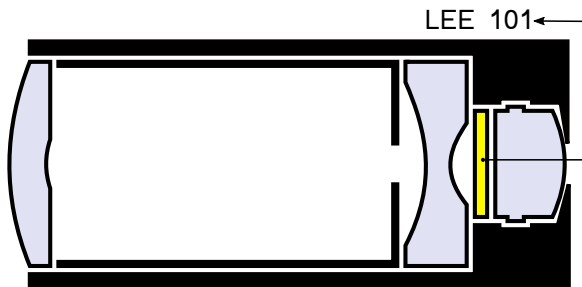


Figura 5: Objetivo de la cámara con filtro LEE 101.

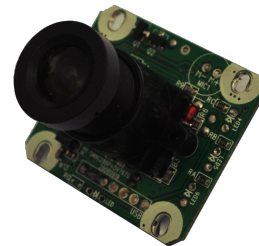


Figura 6: Cámara utilizada para el desarrollo.

La modificación realizada en el objetivo de la cámara se visualiza en la Fig. 5, y en la Fig. 6 se muestra el sensor CMOS de la cámara utilizada.

## 6. Resultados

Luego de implementar (6) y (7) en un algoritmo escrito en lenguaje *Python*, y empleando como entrada de información la cámara web modificada (de acuerdo a las propuestas hechas en § 5), se obtuvieron los resultados que se observan en la Fig. 7 para el NDVI y en la Fig. 8 para el NDWI.

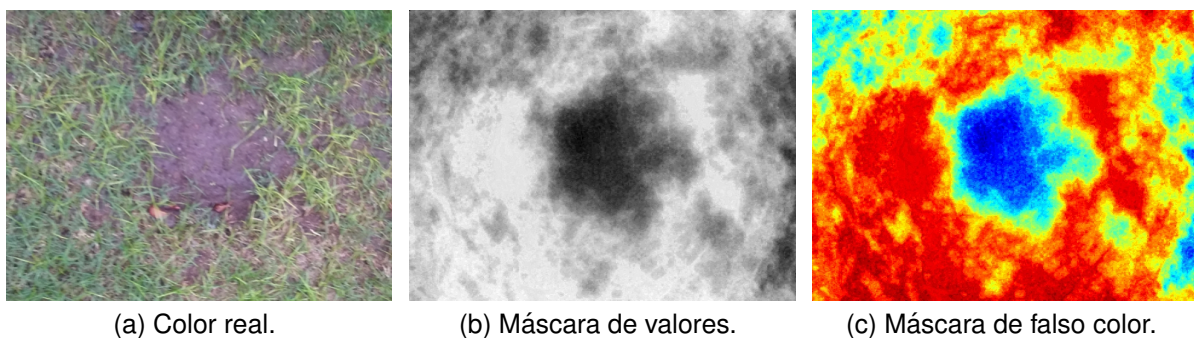


Figura 7: Resultado de NDVI.

Como se observa en la Fig. 7, se distingue correctamente entre el contenido de vegetación y el contenido de tierra.

Por otro lado, en la Fig. 7b y en la Fig. 7c se visualiza una leve saturación en la zona de vegetación, esto se debe presumiblemente a que la cámara utilizada carece de control de ganancia y las capturas se realizaron a la intemperie, con alta intensidad de infrarrojo cercano.

Por último, como se muestra en la Fig. 8, la implementación del NDWI es en general correcto, con fuerte contraste entre el agua y el terreno. No obstante se observa una ligera distorsión en los cambios abruptos de valor.

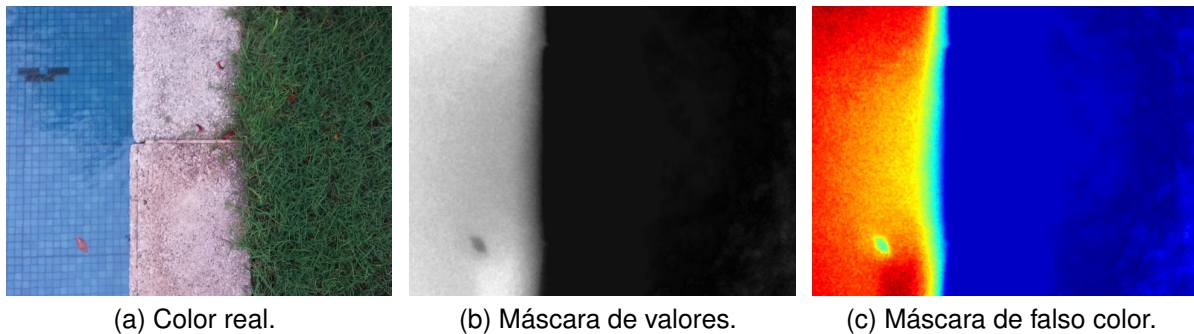


Figura 8: Resultado de NDWI.

## 7. Conclusión

Si bien la implementación propuesta presenta ciertos inconvenientes, como los mencionados en § 6, los mismos no revisten importancia en los ámbitos de aplicación del proyecto. Esto es, la detección de malezas es afectada por la saturación del NDVI, del mismo modo una pequeña distorsión en los bordes de las áreas inundadas no compromete seriamente la mensura de superficies agrícolas anegadas.

Sin embargo, si se desea realizar un análisis cualitativo de la vegetación o discernir entre vegetación saludable y enferma, se deberá incrementar la calidad de las mediciones involucradas en el computo del NDVI.

Una de las propuestas de mejora de alto impacto y moderado coste, es la utilización de una cámara con mayor definición y parámetros controlables (ganancia y ajuste de luz de fondo). Otra posibilidad, aunque más compleja, involucra la utilización de dos cámaras monocromáticas calibradas a longitudes de onda específicas [10], para luego a través de la fragmentación del espectro recibido lograr una comparación directa de intensidades.

## Referencias

- [1] M. Miretti, E. Bernardi, H. Pipino, G. Peretti, Visión artificial aplicada al control de malezas en tiempo real, VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada (2017).
- [2] V. Dworak, J. Selbeck, K.-H. Dammer, M. Hoffmann, A. A. Zarezadeh, C. Bobda, Strategy for the development of a smart ndvi camera system for outdoor plant detection and agricultural embedded systems, *Sensors* 13 (2013) 1523–1538.
- [3] A. D. Richardson, J. P. Jenkins, B. H. Braswell, D. Y. Hollinger, S. V. Ollinger, M.-L. Smith, Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest, *Oecologia* 152 (2007) 323–334.
- [4] S. K. Jain, A. K. Saraf, A. Goswami, T. Ahmad, Flood inundation mapping using noaa avhrr data, *Water Resources Management* 20 (2006) 949–959.
- [5] D. M. Gates, et al., *Biophysical ecology*, Springer, New York, 1980.
- [6] B.-C. Gao, Ndwi-a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote sensing of environment* 58 (1996) 257–266.
- [7] S. K. McFeeters, The use of the normalized difference water index (ndwi) in the delineation of open water features, *International journal of remote sensing* 17 (1996) 1425–1432.
- [8] A. Siegmund, G. Menz, Fernes nah gebracht - Satelliten- und Luftbildeinsatz zur Analyse von Umweltveränderungen im Geographieunterricht, *Geographie und Schule*, 2005.
- [9] Manual, Educational spectrophotometer accessory kit and systems os-8537, PASCO Scientific (1999).
- [10] Y. Kaizu, K. Imou, A dual-spectral camera system for paddy rice seedling row detection, *Computers and Electronics in Agriculture* 63 (2008) 49–56.