

Diagnóstico nutricional de la palma de aceite mediante imágenes espectrales

Cristian Cedas Arias, Luis Rodríguez Barrientos

Palma Tica S.A.

Introducción

Esta investigación responde a la necesidad de optimizar el diagnóstico nutricional, tradicionalmente dependiente de análisis foliares de laboratorio, los cuales son costosos y de ejecución limitada en grandes extensiones. Se plantea que la teledetección puede ser una herramienta complementaria o alternativa, permitiendo intervenciones más oportunas y eficaces.

Objetivo

Evaluar la utilidad de imágenes espectrales para estimar la concentración foliar de nutrientes esenciales en palma de aceite (*Elaeis guineensis*), utilizando datos obtenidos por sensores remotos satelitales y un vehículo aéreo no tripulado (VANT).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en una plantación de 60 ha en el Pacífico Central de Costa Rica, con más de 15 años de manejo diferencial de fertilización. Se evaluaron 40 palmas mediante muestreo estratificado. Para cada palma se recolectó la hoja 17 y se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn y B.

Se utilizaron imágenes multiespectrales tomadas con un VANT Phantom 4 Multispectral® (resolución 5 cm) y sensores satelitales PlanetScope (3 m) y Sentinel-2B (10 m). Se calcularon seis índices espectrales: NDVI, GNDVI, NDRE, SR, NGRDI y VIDVI.

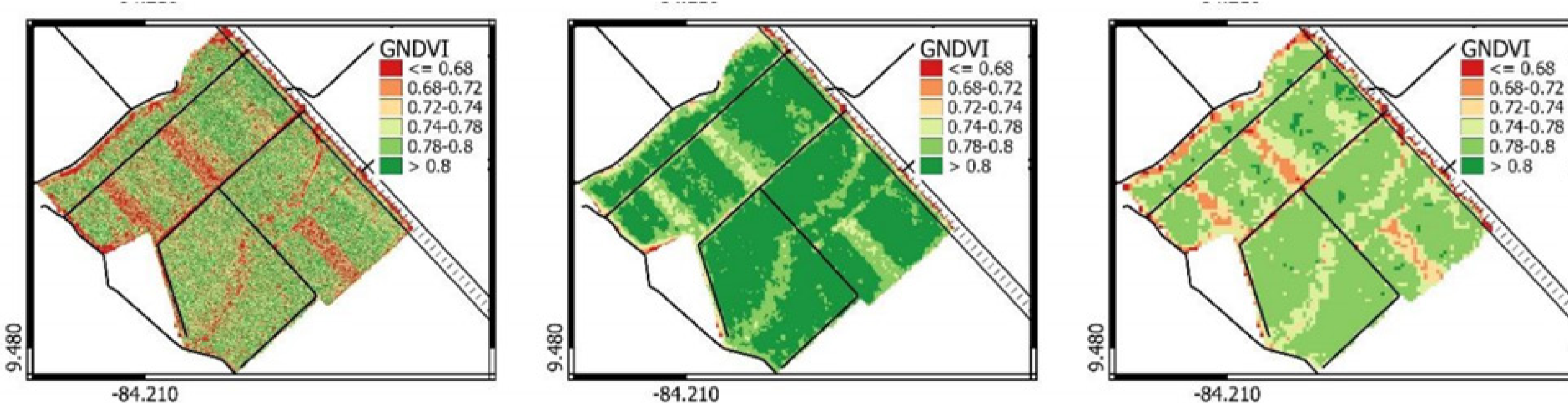


Figura 1. Índice de vegetación GNDVI calculados con los sensores Phantom 4 Multispectral®, PlanetScope y Sentinel

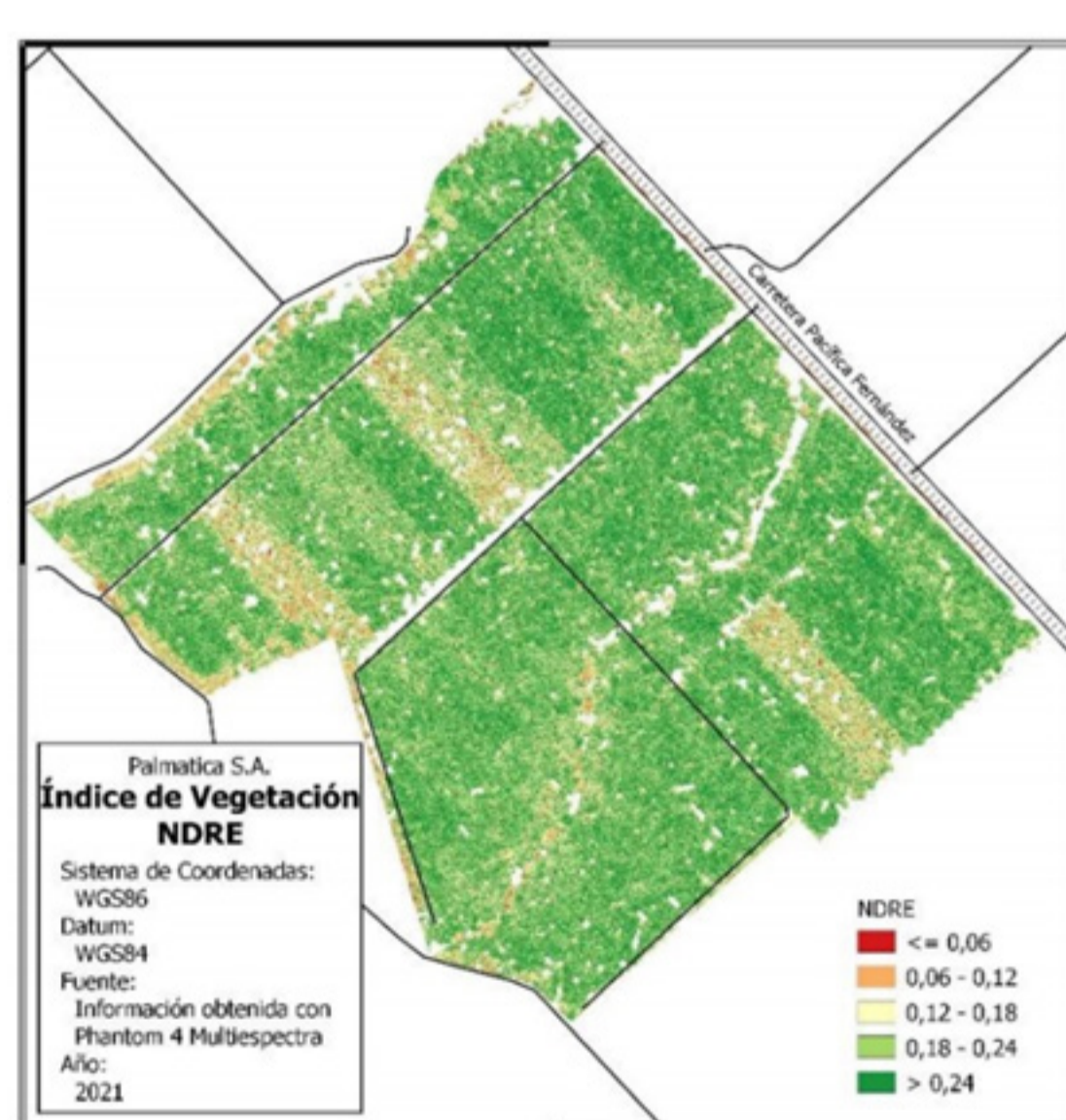


Figura 2. Índice de vegetación NDRE (Diferencia normalizada del borde del rojo).

Tabla 1. Correlación entre la concentración (%) de nutrientes en la hoja 17 y los índices de vegetación GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) y el NDRE (Normalized Difference Red Edge). VANT: vehículo aéreo no tripulado

| Elemento | GNDVI (VANT) | NDRE (VANT) | GNDVI (Sentinel 2) | GNDVI (PlanetScope) |
|----------|--------------|-------------|--------------------|---------------------|
| N | 0,71 | 0,80 | 0,53 | 0,67 |
| P | 0,58 | 0,66 | 0,33 | 0,35 |
| S | 0,69 | 0,71 | 0,49 | 0,52 |
| Mg | -0,47 | -0,61 | -0,64 | -0,69 |
| K | 0,41 | 0,55 | 0,38 | 0,48 |
| Zn | 0,29 | 0,24 | 0,13 | 0,05 |
| Ca | 0,25 | 0,12 | 0,13 | 0,04 |
| B | 0,06 | -0,04 | 0,06 | 0,02 |

Resultados y discusión

Las correlaciones más altas entre índices espectrales y concentración foliar se obtuvieron con imágenes del VANT Phantom 4 Multispectral®. Los nutrientes N, P y S mostraron coeficientes de determinación significativos en modelos de regresión, con valores de R² de 0,75, 0,67 y 0,64, respectivamente, al usar el índice NDRE. Esta relación se atribuye a su influencia directa sobre la clorofila y el desarrollo foliar.

En contraste, nutrientes como K, Mg y Ca no presentaron correlaciones significativas, posiblemente por su distribución localizada o baja expresividad visual. Las imágenes satelitales, aunque menos precisas, mostraron correlaciones aceptables, especialmente con GNDVI.

La alta resolución espacial del VANT permitió una representación más fiel de la variabilidad intrapalma, aunque fue necesario aplicar una agregación por palma para reducir el ruido.

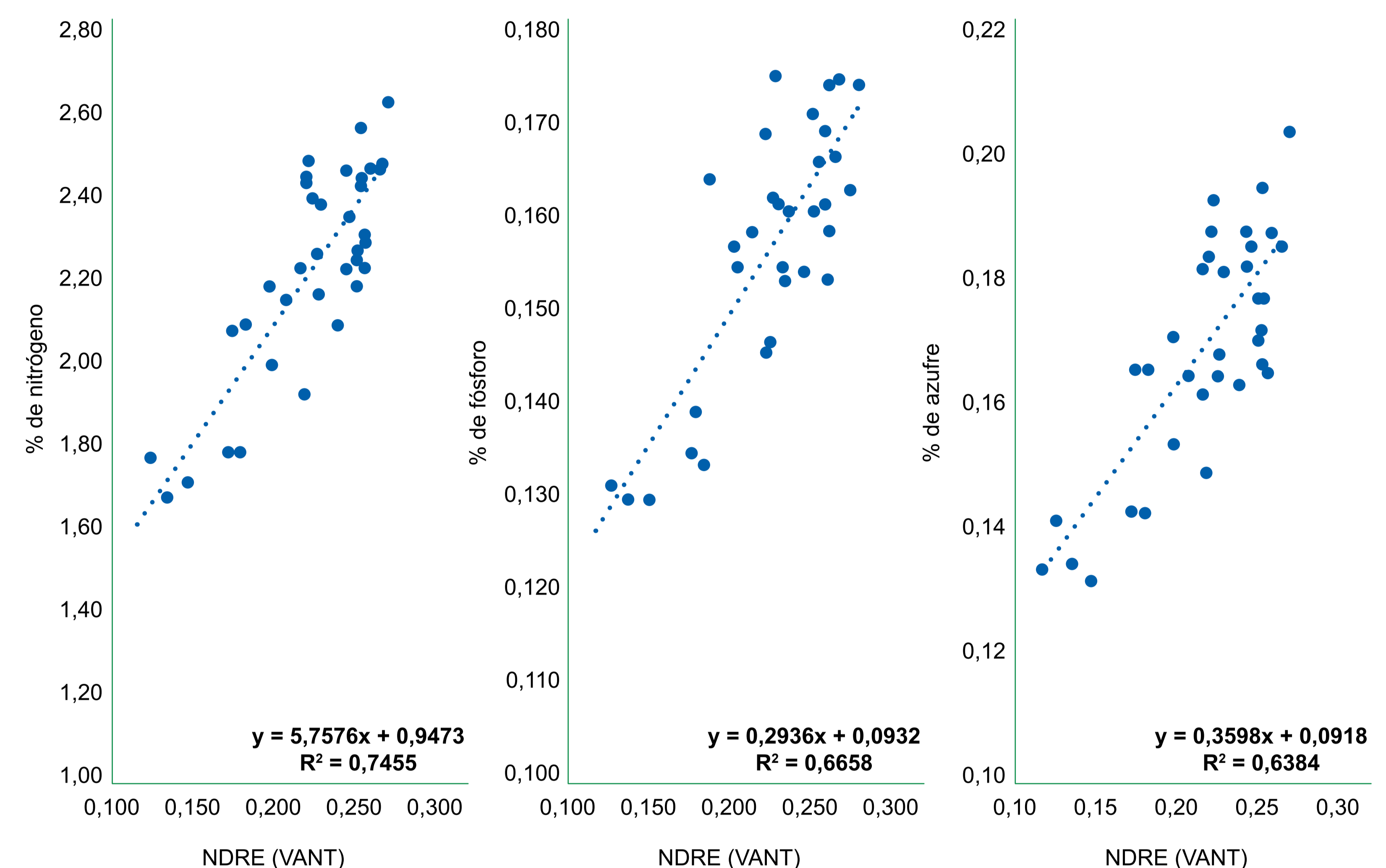


Figura 3. Modelos de correlación donde x = índice de vegetación, y = % de elemento en la hoja 17. NDRE (Normalized Difference Red Edge). VANT: vehículo aéreo no tripulado.

Conclusiones

El índice NDRE, calculado a partir de imágenes del VANT Phantom 4 Multispectral®, presentó los valores más altos de R² para estimar las concentraciones foliares de nitrógeno, fósforo y azufre. Estas relaciones reflejan el vínculo fisiológico entre estos nutrientes y el contenido de clorofila o el vigor del dosel vegetal.

Las imágenes satelitales, aunque con menor resolución, ofrecieron correlaciones aceptables, especialmente con el índice GNDVI, y representan una alternativa útil para monitoreo regional o de bajo costo.

Los resultados confirman que la teledetección multiespectral, en particular mediante VANT, puede ser una herramienta efectiva y precisa para el diagnóstico nutricional de palma de aceite. Se recomienda integrar nuevas variables espectrales o estructurales en futuros estudios para mejorar la estimación de nutrientes como potasio, calcio y magnesio.

Bibliografía

- Li, M. et al. (2022). Use of UAV and Sentinel-2 for nitrogen estimation in cereal crops.
- Ramoelo, A. et al. (2015). Red-edge band in the estimation of leaf chlorophyll content.
- Suyuthi, A. et al. (2019). UAV-based spectral indices for nutrient diagnosis in oil palm.
- Yadegari, M. et al. (2020). Evaluation of NDRE and GNDVI for chlorophyll estimation.
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with UAVs in precision agriculture.
- Marschner, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed..
- Jones, J. B. Jr. (2014). *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*. CRC Press.