

Determinación de los índices espectrales en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guianensis*) en la provincia de Coronel Portillo
*determination of spectral indexes in oil palm crop (*Elaeis guianensis*) in the province of Coronel Portillo*

Milton Miguel Pirro Lozano

milton_pirro@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-8554-4979>

Universidad Nacional de Ucayali (UNU), Carretera Federico Basadre km 6,2, Callería, Ucayali, Perú

Pablo Pedro Villegas Panduro

pablo_villegas@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-9300-8113>

Universidad Nacional de Ucayali (UNU), Carretera Federico Basadre km 6,2, Callería, Ucayali, Perú

Dennis Francis Verde García

teamsac.ucayali@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-4026-8636>

Tecnología Espacio y Ambiente SAC, Jr. Moquegua 184, Callería, Ucayali, Perú

Sucena Elizabeth Moreno Moreno

sucena_moreno@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0006-9783-9188>

Universidad Nacional de Ucayali (UNU), Carretera Federico Basadre km 6,2, Callería, Ucayali, Perú;

Roger Brayan Braga Sandoval

roger_braga@unu.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-5794-1587>

Universidad Nacional de Ucayali (UNU), Carretera Federico Basadre km 6,2, Callería, Ucayali, Perú;

Resumen

La investigación evaluó índices espectrales en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Coronel Portillo, el cual se desarrolló en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, para lo cual se utilizó un dron Matrice 600 Pro con cámara multiespectral Parrot Sequoia (RGB, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano). El vuelo, fue programado con DJI GO y GS Pro, abarcó una hectárea de cultivo. Las imágenes se procesaron con QGIS y Metashape, generando mapas para calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Diferencia Normalizada del Borde Rojo (NDRE). El NDVI mostró que la vegetación presenta un estado predominantemente abundante, con valores entre 0.701 y 0.271 (media: 0.524; desviación estándar: 0.124), lo que indica cobertura vegetal de abundante a moderadamente abundante. En contraste, el NDRE reveló un vigor vegetal generalmente bajo, con valores entre 0.367 y -0.018 (media: 0.172; desviación estándar: 0.140), lo que sugiere la existencia de zonas con estrés vegetal, probablemente por deficiencias nutricionales o hídricas. En conclusión, mientras el NDVI evidencia una buena cobertura vegetal, el NDRE indica una condición fisiológica menos favorable en las plantas.

Palabras clave: imagen multiespectral, cobertura vegetal, vigor vegetal, NDVI, NDRE.

Abstract

The research evaluated spectral indices in oil palm (*Elaeis guineensis*) plantations in Coronel Portillo, which was developed in the oil palm plantation of the National University of Ucayali, using a Matrice 600 Pro drone with a Parrot Sequoia multispectral camera (RGB, green, red, red edge and near infrared). The flight, programmed with DJI GO and GS Pro, covered one hectare of crop. The images were processed with QGIS and Metashape, generating maps to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Red Edge Index (NDRE). The NDVI showed that vegetation presents a predominantly abundant state, with values between 0.701 and 0.271 (mean: 0.524; standard deviation: 0.124), indicating abundant to moderately abundant vegetation cover. In contrast, NDRE revealed a generally low plant vigor, with values between 0.367 and -0.018 (mean: 0.172; standard deviation: 0.140), suggesting the existence of areas with plant stress, probably due to nutritional or water deficiencies. In conclusion, while NDVI evidences a good vegetation cover, NDRE indicates a less favorable physiological condition of the plants.

Key words: multispectral image, plant cover, plant vigor, NDVI, NDRE.

Introducción

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) es una oleaginosa de gran relevancia global por su alto rendimiento y múltiples usos en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica y de biocombustibles. Su cultivo impulsa la economía rural en países tropicales, aunque también enfrenta críticas por su impacto ambiental y social, lo que ha motivado la adopción de prácticas sostenibles y certificaciones como la RSPO (Mesa Redonda sobre el Aceite de Palma Sostenible) (Corley & Tinker, 2016).

La palma aceitera es clave a nivel global por su importancia alimentaria, económica y nutricional. Su aceite, el más consumido del mundo, se usa ampliamente en productos procesados por su estabilidad y durabilidad. Además, es un cultivo estratégico en países tropicales por su alto rendimiento y aporte al empleo y la economía. Nutricionalmente, es fuente de antioxidantes, aunque su contenido en grasas saturadas ha generado debate, siendo aceptable si se consume con moderación dentro de una dieta equilibrada (Sundram et al., 2003).

El rendimiento de la palma aceitera depende de varios factores interrelacionados, especialmente las condiciones del suelo y el manejo. Problemas como la compactación, el mal drenaje y la baja porosidad limitan el desarrollo radicular y favorecen enfermedades como la pudrición del cogollo. Asimismo, plagas como el picudo del racimo y factores edáficos aumentan el riesgo de pérdidas si no se controlan adecuadamente (Munévar et al., 2000). Las malezas, como *Cyperus rotundus* e *Imperata cylindrica*, compiten por recursos esenciales y, si no se controlan, pueden afectar el

crecimiento y rendimiento de las palmas, especialmente en etapas tempranas del cultivo (Miranda & Duran, 2019; Hernández & Sato, 2023).

Los índices espectrales, basados en datos de sensores remotos, permiten destacar características biofísicas de la vegetación y son clave en la agricultura de precisión para monitorear cultivos y optimizar decisiones agronómicas (Zarco et al., 2014). Los índices espectrales permiten evaluar de forma remota y precisa el estado fisiológico de los cultivos, lo que optimiza la gestión agronómica, mejora el rendimiento y favorece una agricultura más sostenible y rentable (Navarro et al., 2020).

Los índices espectrales ofrecen ventajas en la agricultura, como monitoreo no invasivo, amplia cobertura, detección temprana de problemas y optimización de insumos, lo que mejora la eficiencia y rentabilidad del proceso agrícola (Fiorio & Demattê, 2021).

En agricultura, se usan varios índices espectrales para monitorear características de los cultivos, como el NDVI para el vigor vegetal, EVI para vegetación densa, GNDVI para la clorofila, SAVI para corregir la influencia del suelo, NDWI para el contenido de agua y CWSI para detectar el estrés hídrico mediante la temperatura del dosel (Xue & Su, 2017).

El NDVI, utilizado en agricultura de precisión, estima la biomasa, vigor y salud de la vegetación a partir de la diferencia entre la radiación infrarroja cercana y roja (Rouse et al., 1974). El EVI es una versión mejorada del NDVI, optimizada para zonas con vegetación densa (Huete et al., 1997). El CWSI mide el estrés hídrico al comparar la temperatura del dosel vegetal con condiciones óptimas y de déficit hídrico (Idso et al., 1981). El SR, un índice básico, caracteriza la cobertura vegetal mediante la relación entre las bandas del infrarrojo cercano y el rojo (Jordan, 1969).

El Índice de Diferencia Normalizada del Borde Rojo (NDRE) es un índice espectral utilizado en la teledetección para evaluar el contenido de clorofila y el estrés en la vegetación. Se calcula utilizando la diferencia entre las bandas del infrarrojo cercano y el borde rojo del espectro electromagnético, lo que permite una mayor sensibilidad en la detección de variaciones en la salud de las plantas, especialmente cuando la vegetación está en estados de alto estrés o cuando se presentan cambios en su densidad. El NDRE es particularmente útil en la agricultura de precisión para monitorear cultivos y gestionar prácticas agronómicas de manera más eficiente (Zarco et al., 2012).

El Índice de Diferencia Normalizada del Borde Rojo (NRBRI, por sus siglas en inglés) es importante en la agricultura y la ecología porque ayuda a monitorear la salud y el vigor de la vegetación, especialmente en cultivos y áreas forestales. Este índice se enfoca en las bandas espectrales cercanas al borde rojo del espectro, que es sensible a la presencia de clorofila y, por

lo tanto, puede proporcionar información precisa sobre la fotosíntesis y el estado general de las plantas. El NRBRI es útil para detectar cambios en la vegetación debido a factores como el estrés hídrico, la nutrición y las enfermedades. Además, su uso contribuye a la mejora de la toma de decisiones en la agricultura de precisión (Kumar & Mutanga, 2017).

Harahap et al. (2020) realizaron monitoreo del crecimiento y estado nutricional de la palma aceitera, demostrado que, índices como NDVI y EVI son útiles para monitorear el desarrollo de la palma aceitera, identificando áreas con deficiencias nutricionales o bajo rendimiento potencial. Siregar et al. (2017) estimaron el rendimiento de racimos frescos (FFB), utilizando índices espectrales como NDVI, GNDVI y SAVI para establecer correlaciones con el rendimiento de la palma aceitera, permitiendo estimaciones más precisas y planificación de cosechas. Romero & Alvarado (2019) detectaron el estrés hídrico y enfermedades, en plantaciones comerciales de palma aceitera, utilizando el índice NDWI y análisis térmicos para detectar estrés hídrico, así como cambios en NDVI para identificar posibles afectaciones por enfermedades como el "marchitamiento letal".

La investigación busco determinar de los índices espectrales en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guianensis*) en la provincia de Coronel Portillo.

Materiales y métodos

Ubicación de los sectores evaluados

La investigación se desarrolló en el campo de cultivo de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en la carretera Federico Basadre km 6,5 interior 1,5 km, distrito de Callería, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali, ubicándose en las siguientes coordenadas: 8°24'56" S, 74°34'18" W-8.412384, -74.573563, a una elevación de 153 m. El campo de cultivo de palma aceitera de la UNU, tiene una edad de 20 años de instalado, el cual tiene 1,5 ha de extensión.

Preparación del vehículo aéreo no tripulado (RPAS) y la cámara multiespectral

Se procedió a preparar el dron DJ modelo Matrice 600 Pro, al cual se le incorporó una cámara Parrot Sequoia de 5 cámaras, las cuales, la primera cámara fue la RGB (16 Mpix), la segunda cámara fue el sensor Verde (1,2 Mpix), la tercera cámara fue el sensor Rojo (1,2 Mpix), la cuarta cámara fue el sensor Borde rojo (1,2 Mpix) y la quinta cámara fue el sensor Infrarrojo cercano (1,2 Mpix).

Plan de vuelo

Se realizó la programación del plan de vuelo utilizando el software DJI GO y DJI GS Pro, programando las siguientes variables: Altura de vuelo (30 metros), Velocidad (5 m/s), Traslape (85 %), Tiempo estimado de vuelo (25 minutos). Se realizó la programación del vuelo del dron tomando como unidad de área, una hectárea de palma aceitera.

Captura de imágenes y procesamiento de datos

Las capturas de imágenes a través de la cámara multispectral fueron procesadas en el software QGIS V 3.28.8 y Metashape V 2.0.2, para elaborar el mapa correspondiente y determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Diferencia Normalizada del Borde Rojo (NDRE) en el cultivo de palma aceitera. Se realizó el análisis estadístico de los índices de tendencia centra y dispersión de los valores obtenidos para los índices de Vegetación de Diferencia Normalizada e Índice de Diferencia Normalizada del Borde Rojo.

Resultados y discusión

*Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guianensis*) en la provincia de Coronel Portillo.*

La figura 1 muestra el mapa elaborado a partir de la captura de las imágenes multispectrales correspondientes a la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, en el cual se tomó 10 puntos al azar para determinar el NDVI.

Figura 1

Mapa obtenido de la captura de imágenes espectrales de la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, con 10 puntos al azar para determinar el NDVI.

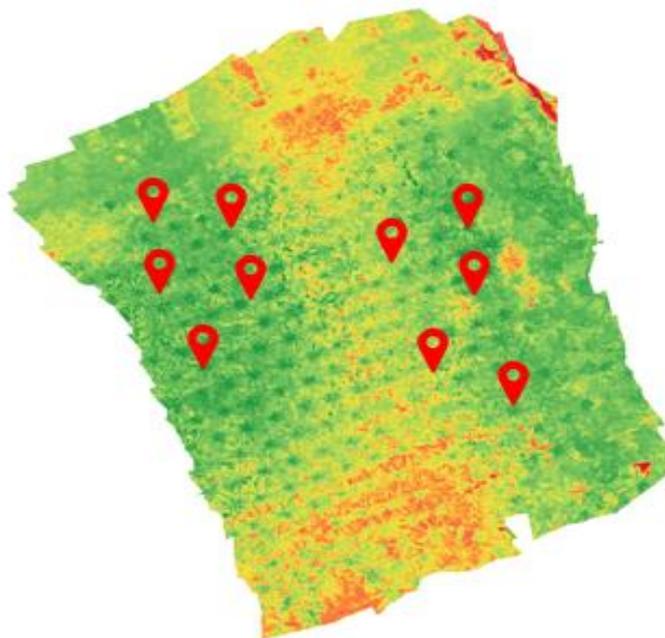


Tabla 1.

Valores de NDVI obtenidos de 10 plantas seleccionadas al azar en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali.

N°	NDVI	Valores		
		Valor	Color	Etiqueta
1	0.701			
2	0.476	-0.5408041		-0.5408
3	0.531			
4	0.618	-0.2913092		-0.2913
5	0.619			
6	0.396	-0.0418144		-0.0418
7	0.581	0.2076805		0.2077
8	0.271	0.4571753		0.4572
9	0.569			
10	0.478	0.7066702		0.7067

La tabla 1 muestra el valor del NDVI para 10 plantas tomadas al azar en el área evaluada, mostrándose que los valores de NDVI están en rangos de 0.701 a 0.271, y de acuerdo a los valores, se encuentra entre abundante y moderadamente abundante.

Tabla 2.

Índices de tendencia centra y dispersión de los valores de NDVI, en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali.

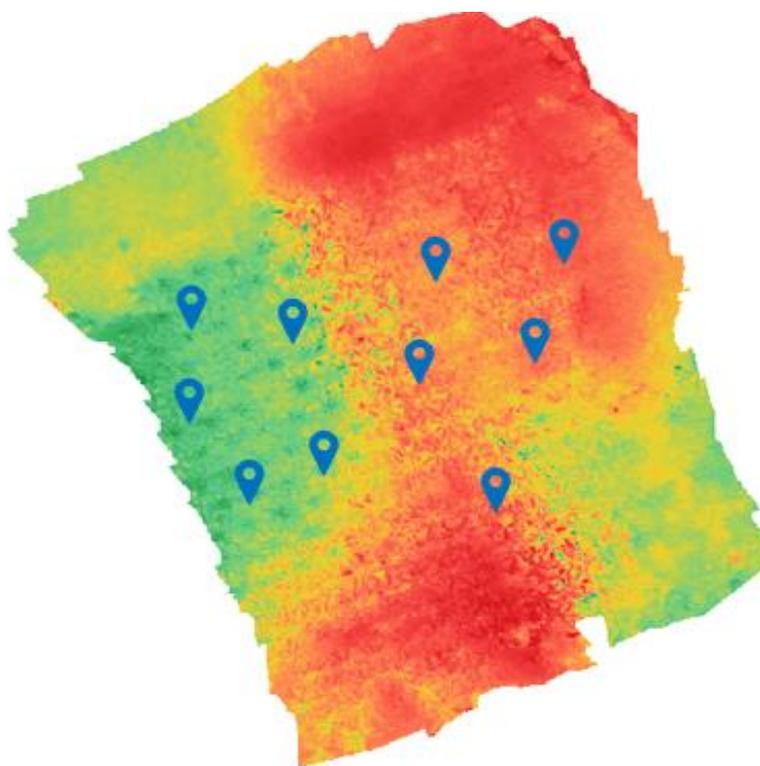
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
NDVI	10	0.271	0.701	0.524	0.124	0.015
N válido (por lista)	10					

La tabla 2 muestra el análisis estadístico de los índices de tendencia centra y dispersión de los valores de NDVI en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, observándose que, el valor medio de NDVI fue de 0,524 y una desviación estándar de 0,124, por consiguiente, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) fue abundante. Al respecto, Hartoyo et al. (2022) utilizaron el NDVI para estimar los cambios en la cobertura vegetal en el Parque Nacional Mount Halimun Salak, Indonesia, entre 2013 y 2021. Los resultados mostraron una disminución significativa en los valores de NDVI, indicando una reducción en la cobertura vegetal durante el período de estudio. Zaitunah et al. (2018) aplicaron el NDVI para analizar diferentes tipos de cobertura terrestre en la cuenca hidrográfica de Besitang, Indonesia, utilizando imágenes Landsat 8 OLI. El estudio permitió clasificar y mapear áreas como bosques, tierras agrícolas y cuerpos de agua, demostrando la eficacia del NDVI en la evaluación del uso del suelo.

Pei et al. (2021) investigaron la aplicación del NDVI para detectar cambios extremos en la precipitación en las regiones media y baja del río Yangtsé, China, entre 1982 y 2012. El estudio encontró que el NDVI máximo es más sensible a los cambios en la intensidad de las precipitaciones extremas, lo que lo convierte en un indicador útil para monitorear eventos climáticos extremos. Nichiporovich y Radevich (2012) utilizaron datos satelitales multiespectrales de Ikonos para monitorear tierras agrícolas en la región de Polesye, Bielorrusia, mediante el NDVI. El estudio demostró que el NDVI es eficaz para evaluar la salud de los cultivos y detectar áreas degradadas, proporcionando información valiosa para la gestión agrícola. Ahmed (2019) aplicó el NDVI para monitorear la vegetación en el distrito de Bahir Dar Zuria, en las tierras altas del norte de Etiopía, utilizando imágenes satelitales de 1986 y 2003. El estudio reveló una disminución significativa en los valores máximos de NDVI, indicando una degradación de la cobertura vegetal durante el período analizado, siendo estas investigaciones concordantes con los resultados obtenidos en el presente estudio, corroborándose que, el uso del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), pueden ser empleados para la identificación del desarrollo vegetativo de las plantas de palma aceitera.

Figura 2

Mapa obtenido de la captura de imágenes espectrales, en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, para determinar el NDRE.



Índice de diferencia normalizada del borde rojo (NDRE) en el cultivo de palma aceitera (Elaeis guianensis) en la provincia de Coronel Portillo.

La figura 2 muestra el mapa elaborado a partir de la captura de las imágenes multiespectrales correspondientes a la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, en el cual se tomó 10 puntos al azar, para determinar el NDRE.

Tabla 3.

Valores de NDRE obtenidos de 10 plantas seleccionadas al azar, en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali.

N°	NDRE	Valores		
		Valor	Color	Etiqueta
1	0.324	-0.2554853		-0.2555
2	0.208	-0.10118184		-0.1012
3	0.367	0.05312162		0.0531
4	0.318	0.20742508		0.2074
5	0.256	0.36172854		0.3617
6	0.048	0.516032		0.5160
7	-0.018			
8	0.142			
9	0.018			
10	0.064			

La tabla 3 muestra el valor del NDRE para 10 plantas tomadas al azar en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, mostrándose que los valores de NDRE estuvieron en rangos de 0.367 a -0.018, y de acuerdo a los valores, se encuentra en rango medianamente saludable o vigoroso y muy bajo en salud o vigor de las plantas de palma aceitera.

Tabla 4.

Índices de tendencia central y dispersión de los valores de NDRE, en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
NDRE	10	-,018	,367	,172	,140	,020
N válido (por lista)	10					

La tabla 4 muestra el análisis estadístico de los índices de tendencia central y dispersión de los valores de NDRE obtenidos en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, observándose que, el valor medio de NDRE fue de 0,172 y una desviación estándar de 0,140, por consiguiente, el índice de diferencia normalizada del borde rojo (NDRE) fue poco vigoroso. Al respecto, Hariadi et al. (2024) desarrollaron un modelo predictivo para estimar los

contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) en hojas de palma aceitera utilizando el NDRE derivado de imágenes multiespectrales obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV). Los resultados mostraron una alta precisión en la predicción de N y P, y una buena precisión para K, Mg y Ca. Sharifi y Felegari (2023) utilizaron el NDRE para estimar la biomasa en pastizales naturales en el oeste de Irán, comparándolo con otros cinco índices de vegetación. El estudio concluyó que el NDRE ofrece ventajas al ajustar los cambios en el contenido de agua de las hojas y superar los efectos negativos de la heterogeneidad del sustrato del suelo. Thompson et al. (2019) aplicaron el NDRE para evaluar la madurez en cultivos de algodón, desarrollando un método de puntuación de madurez espectral basado en el punto de inflexión del crecimiento (GIP) derivado de curvas de crecimiento del NDRE. Este método mostró correlaciones significativas con medidas manuales de madurez, como los nodos por encima de la flor blanca (NAWF). Ljubičić et al. (2024) investigaron el uso del NDRE y el NDVI para estimar el rendimiento de grano y la biomasa en cultivos de maíz. Los resultados indicaron que el NDRE tiene una relación positiva significativa con el rendimiento de grano en etapas tempranas de crecimiento, mientras que la estimación de biomasa mostró la mayor correlación en etapas posteriores. Saini y Ghosh (2019) analizaron el impacto de la banda del borde rojo en la clasificación de uso y cobertura del suelo utilizando imágenes multiespectrales de RapidEye y técnicas de aprendizaje automático. El estudio encontró que la inclusión del NDRE mejoró la precisión de la clasificación en comparación con otros índices de vegetación, siendo estas investigaciones concordantes con los resultados obtenidos en el presente estudio, corroborándose que, el uso del índice de diferencia normalizada del borde rojo (NDRE), pueden ser empleados para la identificación del estado sanitario o de vigor de las plantas de palma aceitera.

Conclusiones

A partir de los valores obtenidos para el índice de vegetación (NDVI) en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, se concluye que el estado de la vegetación es predominantemente saludable. Los rangos registrados, entre 0.701 y 0.271, indican que la cobertura vegetal varía de abundante a moderadamente abundante, siendo el valor medio de 0.524 con una desviación estándar de 0.124. Esto sugiere que, en general, la plantación presenta una buena densidad y vigor vegetal, lo que se traduce en un NDVI calificado como abundante.

A partir de los valores obtenidos para el índice de diferencia normalizada del borde rojo (NDRE) en la plantación de palma aceitera de la Universidad Nacional de Ucayali, se concluye que el estado de salud y vigor de las plantas es, en general, bajo. Los valores, que oscilaron entre 0.367

y -0.018, indican la presencia de áreas con condición medianamente saludable y otras con un vigor muy bajo. El valor medio de 0.172, junto con una desviación estándar de 0.140, refleja una tendencia general hacia un vigor reducido en la plantación, lo que sugiere posibles deficiencias nutricionales, estrés hídrico u otros factores que afectan negativamente la salud del cultivo.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Ucayali y al Vicerrectorado de Investigación, por financiar el proyecto de investigación titulado “Determinación del estado sanitario de cultivos de palma aceitera (*Elaeis guianensis*) usando índices espectrales en la provincia de Coronel Portillo”, con Resolución No 376-2019-UNU-CU-R.

Referencia bibliográfica

- Ahmed, N. (2019). Application of NDVI in Vegetation Monitoring Using GIS and Remote Sensing in Northern Ethiopian Highlands. *Abyssinia Journal of Science and Technology*, 4(1), 1–10. <https://abjol.org.et/index.php/ajst/article/view/59>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Fiorio, P. R., & Demattê, J. A. M. (2021). Spectral vegetation indices: Performance in the agricultural landscape. *Scientia Agricola*, 78(1), e20190211. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0211>
- Harahap, F., Hasibuan, A. M. A., & Lubis, M. H. (2020). Monitoring of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations using vegetation index and Sentinel-2 imagery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419, 012116. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012116>
- Hartoyo, A. P. P., Pamoengkas, P., Mudzaky, R. H., Khairunnisa, S., Ramadhi, A., Munawir, A., Komarudin, K., Hidayati, S., & Sunkar, A. (2022). Estimation of vegetation cover changes using normalized difference vegetation index (NDVI) in Mount Halimun Salak National Park, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1), 012068. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012068>
- Hariadi, B., Sastrohartono, H., Krisdiarto, A. W., Sukarman, S., Sagoro, T. H., Primananda, S., & Akbar, A. R. M. (2024). The use of the Normalized Difference Red Edge (NDRE) vegetation index from multispectral cameras mounted on unmanned aerial vehicle to estimate the nutrient content in oil palm leaves. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 13(1), 45–54.

- Hernández, H. P., & Sato, M. P. (2023). ¿La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) genera un impacto negativo sobre el suelo? Una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1).
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J., & Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, 45–55. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90032-7)
- Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50(4), 663–666. <https://doi.org/10.2307/1936256>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2017). Remote sensing of vegetation stress using the red-edge bands: Applications in vegetation health monitoring. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56904-9>
- Ljubičić, N., Popović, V., Kostić, M., Vukosavljev, M., Buđen, M., Stanković, N., & Stevanović, N. (2024). The normalized difference red edge index (NDRE) in grain yield and biomass estimation in maize (*Zea mays* L.). En Proceedings of the XV International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2024” (pp. 373–378). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15047896>
- Miranda Ruiz, E., & Duran Ayra, S. (2019). Incidencia de plantas indeseables que afecta la plantación y producción en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en un Inceptisol, en la provincia de Padre Abad. *TZHOECOEN*, 11(2), 45–53.
- Munévar M., F., Acosta G., Álvaro, & Gómez C., P. L. (2000). Factores edáficos asociados con la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 21(especial), 258. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/837>
- Navarro Herrera, M. F., López Granados, F., & Peña, J. M. (2020). Remote sensing and spectral vegetation indices for precision agriculture: Applications and trends. *Agronomy*, 10(7), 1045. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071045>
- Nichiporovich, Z. A., & Radevich, E. A. (2012). Experience using the NDVI normalized difference vegetation index for monitoring Polesye agricultural land based on multispectral Ikonos satellite imaging data. *Journal of Applied Spectroscopy*, 79(4), 670–673. <https://doi.org/10.1007/s10812-012-9656-5>

- Pei, F., Zhou, Y., & Xia, Y. (2021). Application of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the Detection of Extreme Precipitation Change. *Forests*, 12(5), 594. <https://doi.org/10.3390/f12050594>
- Romero Rivas, D., & Alvarado Bonilla, J. A. (2019). Evaluación del estado fisiológico de la palma de aceite mediante el uso de sensores remotos y análisis multitemporal. *Revista Palmas*, 40(1), 35–45. [Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13105>]
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309.
- Saini, R., & Ghosh, S. K. (2019). Analyzing the impact of red-edge band on land use land cover classification using multispectral RapidEye imagery and machine learning techniques. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(4), 044511. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.044511>
- Sharifi, A., & Felegari, S. (2023). Remotely sensed normalized difference red-edge index for rangeland biomass estimation. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(7), 1128–1136. <https://doi.org/10.1108/AEAT-07-2022-0199>
- Siregar, F. A., Syafrudin, S., & Setiawan, E. Y. (2017). Estimation of fresh fruit bunches (FFB) productivity of oil palm using remote sensing and vegetation indices. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(4), 1283–1288. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.4.2921>
- Sundram, K., Sambanthamurthi, R., & Tan, Y. A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12(3), 355–362.
- Thompson, C. N., Guo, W., Sharma, B., & Ritchie, G. L. (2019). Using Normalized Difference Red Edge Index to Assess Maturity in Cotton. *Crop Science*, 59(5), 2167–2177. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.04.0227>
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, Article ID 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Zaitunah, A., Samsuri, A. G., Ahmad, A. G., & Safitri, R. A. (2018). Normalized difference vegetation index (NDVI) analysis for land cover types using Landsat 8 OLI in Besitang watershed, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126(1), 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/126/1/012112>



Zarco Tejada, P. J., Hubbard, N., & Loudjani, P. (2014). Precision agriculture: An opportunity for EU farmers – Potential support with the CAP 2014–2020. European Union. <https://doi.org/10.2791/80497>

Zarco-Tejada, P. J., González-Dugo, M. P., & Berni, J. A. J. (2012). Tree height and canopy cover estimation with high resolution airborne hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(7), 2399–2414. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.605057>

