

Relación entre variables biofísicas e índices vegetativos espectrales en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*)



<https://cu-id.com/2177/v32n3e02>

Relationship between Biophysical Variables and Spectral Vegetative Indices in Cultivation of Potato (*Solanum tuberosum*)

Elvis López Bravo^{I*}, Arley Placeres Remior^{II}, Omar Rodríguez Rivero^I,
 Omar González Cueto^I, Miguel Herrera Suárez^{III}

^IUniversidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{II}Universidad Católica de Temuco, Facultad Técnica, Chile.

^{III}Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo identificar la relación entre los índices vegetativos espectrales (IV) y las variables biofísicas en el cultivo de la papa. El mismo se realizó en la empresa agropecuaria Valle del Yabú de la provincia Villa Clara, ubicada en las coordenadas 22,54491° Latitud Norte y 79,99791° Longitud Oeste, en un área de 10 ha con riego por pivote central. El seguimiento a los indicadores morfológicos de crecimiento se realizó a través de mediciones de campo para lo cual se tomaron 15 puntos experimentales georreferenciados con GPS. Para el monitoreo de los IV se emplearon las imágenes de cobertura terrestre y mapas de distribución espacial disponibles en el sistema *Earth Observed System*. El estudio mostró que los IV: NDVI, EVI y SAVI varían en correspondencia con el desarrollo de las variables biofísicas, mostrando correlaciones mayores a 0,9. La mayor correlación se obtuvo entre el índice NDVI y el área foliar (AF) y fue de 0,98. Por su parte, mediante el monitoreo del NDVI se logró identificar los cambios ocurridos en el AF y la humedad del suelo durante el período vegetativo. La distribución espacial de los valores NDVI posibilitaron identificar la variabilidad en la cobertura vegetal del cultivo.

Palabras clave: cobertura, satelital, agricultura, mapas, rendimiento, índice de vegetación, variables biofísicas.

ABSTRACT: The objective of the present work is to identify the relationship between the spectral vegetative indices (VI) and biophysical variables in potato crop. The study was carried out in Valle del Yabú Agricultural Enterprise in Villa Clara Province, located at coordinates 22. 54491° North Latitude and 79. 99791° West Longitude, in an area of 10 ha irrigated by central pivot system. The monitoring of the morphological indicators of growth was carried out through field measurements, for which 15 experimental points georeferenced with GPS were taken. To monitor the VIs, the land cover images and spatial distribution maps available in the Earth Observed System were used. The study showed that indexes as NDVI, EVI and SAVI vary in correspondence with the development of the biophysical properties, showing correlations greater than 0,9. The strong correlation of 0,98 was obtained between NDVI index and leaf area (AF). On the other hand, by monitoring NDVI it was possible to identify the changes that occurred in AF and soil moisture during vegetative period. The spatial distribution of NDVI values also made it possible to identify the variability in the plant cover of the crop.

Keywords: Coverage, Satellite, Agriculture, Maps, Yield.

*Autor para correspondencia: Elvis Lopez Bravo, e-mail: elvislb@uclv.edu.cu

Recibido: 15/01/2023

Aceptado: 24/06/2023

INTRODUCCIÓN

El empleo de la tecnología de sensores remotos ha mostrado avances sustanciales en la caracterización biofísica de la vegetación. Las investigaciones muestran una acertada correlación entre los datos de los sensores de los satélites y las variables biofísicas tales como el índice de área foliar, la cobertura vegetal y, la presencia de plagas (Lago *et al.*, 2011; Sishodia *et al.*, 2020; Safi *et al.*, 2022; Wagner *et al.*, 2022; Lizarazo *et al.*, 2023). Los índices vegetativos (IV) se obtienen a partir de relacionar la banda del rojo del espectro electromagnético y el infrarrojo cercano, reflejando patrones generales de las propiedades ópticas de los cultivos. Como finalidad se pretende extraer la información relacionada con la vegetación y minimizar la influencia del suelo entre otros factores (Perry y Lautenschlager, 1984; Fang *et al.*, 2015; Zakeri y Mariethoz, 2021). El empleo de los IV para el seguimiento de la evolución del cultivo según su estado de desarrollo y los pronósticos de rendimiento, se ha extendido en cultivos como el maíz, soya, banano, papa, caña de azúcar entre otros (Sinha *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2020; Shao *et al.*, 2021; Soltanikazemi *et al.*, 2022). En el cultivo de la papa se han realizado estudios dirigidos a identificar la severidad del tizón tardío en época de invierno (Kundu *et al.*, 2021); se ha determinado el área foliar en diferentes estaciones empleando los datos de los IV (Wu *et al.*, 2007); se ha evaluado el uso de datos de coherencia interferométrica del satélite Sentinel-1 como herramienta para el monitoreo (Villarroya-Carpio *et al.*, 2022); se han introducido además métodos para contribuir a mejorar la identificación de los síntomas de marchitamiento por verticilosis (Lizarazo *et al.*, 2023); así como investigaciones de diferentes índice para determinar el estrés hídrico y la gestión del riego (Ekinzog *et al.*, 2022).

El empleo de la percepción remota para el monitoreo del desarrollo del cultivo de la papa en Cuba mediante el monitoreo de los IV puede jugar un importante papel para identificar la presencia de plagas, necesidades hídricas y pronósticos de rendimiento. El objetivo del presente trabajo consiste

identificar la relación entre los índices vegetativos espectrales (IV) y las variables biofísicas en el cultivo de la papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la empresa agropecuaria Valle del Yabú de la provincia Villa Clara en campo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) del cultivar *Loane*, ubicada en las coordenadas 22. 54491° Latitud Norte y 79. 99791° Longitud Oeste (Figura 1a). La siembra se realizó en el periodo del 4 al 11 de enero en un área de 10 ha con riego por pivote central, a una distancia de 0,90 x 0,30 m en un suelo pardo mullido medianamente lavado. La cosecha se realizó del 11 al 26 de abril de 2022.

El seguimiento a los indicadores morfológicos de crecimiento se realizó a través de mediciones de campo. Para ello se tomaron 15 puntos experimentales georreferenciados mediante el sistema GPS, tomando una precisión de 0,2 m. El área de los puntos experimentales se tomó como el cuadrado de la distancia entre camellones, resultando en 2,25 m². Para cada punto se hicieron mediciones de humedad del suelo (Figura 1b), el número de hojas, el diámetro y altura de los tallos (Figura 1c). El área foliar (AF) se determinó mediante el procesamiento de las imágenes RGB de cada punto experimental en el programa ImageJ v1,54 para obtener el área ocupada por el cultivo (Figura 1d). La humedad en base al suelo seco (hbss)%, se determinó por el método gravimétrico. Las mediciones se realizaron en la zona del camellón próxima a la planta, las muestras se secaron en la estufa a una temperatura constante de 105 °C, durante 24 h, se enfriaron durante 20 min, a partir de lo cual se pesaron cada dos horas hasta alcanzar una masa constante. El pesaje de las muestras antes y después del secado se realizó con una balanza de precisión $\pm 0,01$ g.

Para el monitoreo de los IV, se emplearon las imágenes de cobertura terrestre y se obtuvieron los mapas de distribución espacial mediante el sistema *Earth Observed System* disponibles en el sitio <https://eos.com>. La plataforma posibilita el cálculo e

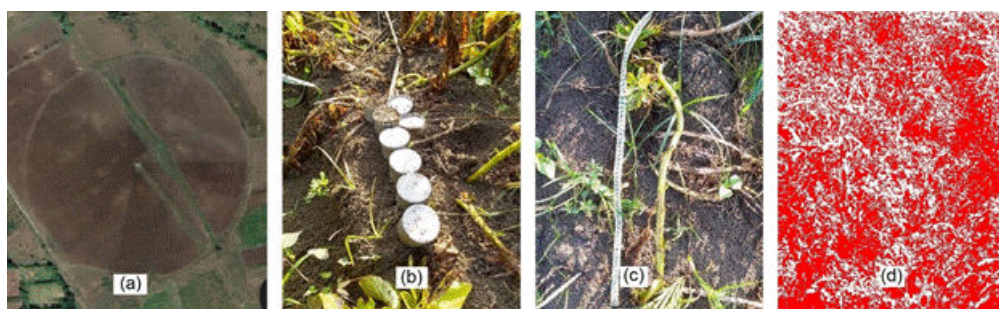


FIGURA 1. Mediciones de campo, (a) área circular cultivada, (b) muestreo de suelo, (c) medición de plantas, (d) determinación de área foliar.

interpolación de los IV a partir de las imágenes espectrales tomadas de los sensores de los satélites de reconocimiento de la superficie *LandSat* y *Sentinel*. Los índices espectrales que se tomaron para realizar el monitoreo fueron los siguientes: índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice mejorado de vegetación (EVI), índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) e índice de diferencial de agua normalizado (NDWI).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la medición de los indicadores biofísicos y los índices vegetativos espectrales del cultivo durante su período vegetativo se muestran en la [Tabla 1](#). En todos los casos la humedad del suelo estuvo por encima del 30%, como resultado de la aplicación periódica del riego. Los valores del área foliar aumentaron hasta lograr el valor máximo próximo a la etapa de la cosecha. De igual modo el número de hojas y el diámetro del tallo se incrementan hasta el período de maduración donde tiene lugar la caída de las mismas y la reducción del calibre del tallo debido a la baja actividad de transferencia de nutrientes previo a la etapa de cosecha. La longitud del tallo por su parte muestra un crecimiento hasta la etapa de tuberización y mantiene un valor constante en lo sucesivo. Los resultados obtenidos están en correspondencia con las observaciones realizadas en diferentes cultivos por los autores [Wu et al. \(2007\)](#) y [Villarroya-Carpio et al. \(2022\)](#).

De forma general, los índices espectrales de desarrollo vegetativo promedio, muestran valores que se incrementan a medida que se desarrolla el cultivo y no sobrepasan en ningún caso el 0,8 lo que indica que no se logra identificar una saturación de la vegetación en el área.

La variación espacial que tiene lugar en los índices vegetativos se muestra en la [Figura 2](#), referente al muestreo 4 donde el cultivo mostró altos valores de follaje. En todos los indicadores se identifica la zona no cultivada la cual se representa de forma diagonal al centro del campo. Los índices NDVI y EVI muestran valores que corresponden a la vegetación predominante, en tanto el índice SAVI muestra valores entre 0,1 y 0,2 lo que subestima la presencia vegetal. Con el índice EVI se logra identificar áreas de mayor

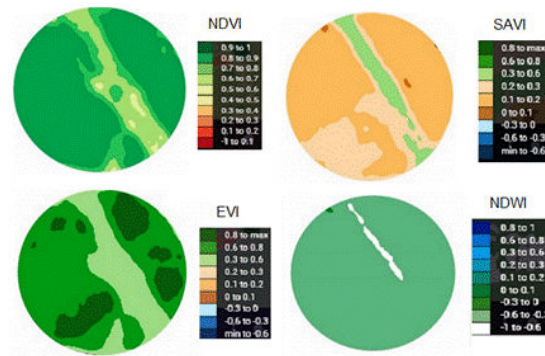


FIGURA 2. Distribución espacial de los índices vegetativos.

follaje. Por su parte el índice NDVI muestra un valor de humedad uniforme que guarda estrecha relación con el empleo del riego por pivote central. La distribución espacial del NDVI permite además visualizar la variabilidad en los rendimientos del cultivo y la confección de mapas de fertilización ya empleados por [Lago et al. \(2011\)](#).

El análisis temporal de las series de datos tomados durante la germinación, el crecimiento y la maduración del tubérculo, mostró diferentes niveles de correlación con los IV. En la [Tabla 2](#) se muestran el resultado del análisis de correlación múltiple de las combinaciones de variables que mostraron al menos una relación significativa con las demás variables. Se excluyen del análisis, por tanto, el diámetro y la longitud del tallo así como el índice de humedad de la biomasa NDWI al no encontrarse una relación lineal con las demás variables. En la Tabla se muestran las combinaciones que obtuvieron altos valores de coeficiente de correlación (r), con significación estadística a niveles de confianza de más del 95%, denotada con p-value menor a 0,05 y se resaltan las combinaciones que mostraron $r \geq 0,9$, las que demuestran una fuerte relación lineal entre las variables.

Referente a la distribución temporal, el índice SAVI y EVI muestran una alta correlación con la humedad del suelo, la cual además muestra una fuerte correlación con la cantidad de hojas y el área foliar. Los datos obtenidos muestran la dependencia entre humedad del suelo y el desarrollo morfológico del

TABLA 1. Resultados de las variables biofísicas e índices vegetativos

Muestreo	Long. tallo, cm	Diám. tallo, cm	Nºde hojas	Área Foliar, %	Humedad suelo, %	Índice vegetativo promedio			
						NDVI	EVI	SAVI	NDWI
1	10,32	0,54	12,7	10,12	38,3	0,12	0,11	0,12	-0,61
2	20,21	1,18	69,5	22,24	34,7	0,21	0,24	0,26	-0,52
3	32,6	1,21	110,9	40,15	41,4	0,65	0,67	0,61	-0,32
4	43,52	1,26	101,8	41,63	42,6	0,72	0,65	0,55	-0,67
5	44,37	1,24	69,2	37,54	38,7	0,53	0,47	0,32	-0,52
6	44,51	1,22	33,5	32,13	32,4	0,46	0,33	0,29	-0,61

TABLA 2. Correlación múltiple entre variables temporales

	Humedad Suelo, %	Área Foliar, %	NDVI	EVI	SAVI
Nº de combinaciones	0,9602	0,7974	0,7730	0,8908	0,9267
	0,0023	0,0574	0,0715	0,0172	0,0079
Humedad Suelo, %		0,9013	0,8963	0,9356	0,9187
		0,0141	0,0156	0,0061	0,0096
Área Foliar, %			0,9852	0,9048	0,8270
			0,0003	0,0132	0,0423
NDVI				0,9337	0,8500
				0,0065	0,0320
EVI					0,9781
					0,0007

Primer número: correlation coefficient (r)

Segundo número: p-value

cultivo. Por otra parte, el mayor coeficiente de correlación se obtiene entre el índice NDVI y el área foliar, alcanzando un valor de 0,985, lo que demuestra la efectividad de este indicador en el monitoreo del estado del cultivo. Las variación del índice NDVI durante el período vegetativo del cultivo se muestra en la [Figura 3](#), donde es posible identificar los diferentes cambios que tienen lugar tanto en el área foliar como en la humedad del suelo en correspondencia con los resultados de del muestreo de campo.

En la [Figura 4](#) se muestran las imágenes de la distribución espacial del índice NDVI durante la brotación (I), en el estado de mayor vegetación (II) y en la etapa de marchitez (III), el cual posibilita además el análisis temporal de su comportamiento. El estado inicial se caracteriza por la ausencia de cobertura vegetal con valores entre 0,2 y 0,4 estando en correspondencia con el desarrollo incipiente del cultivo. En la etapa II el cultivo se encuentra en el máximo valor de cobertura foliar y se obtiene el NDVI de 0,9 para decrecer nuevamente en la etapa III con un valor predominante de 0,4.

CONCLUSIONES

El monitoreo de los índices vegetativos: NDVI, EVI y SAVI muestran un incremento en correspondencia con el desarrollo de las variables biofísicas del cultivo en las diferentes etapas de crecimiento. En todos los casos se logran correlaciones mayores a 0,9, destacándose el índice SAVI, el cual muestra una fuerte correlación con el número de hojas y la humedad del suelo.

La mayor correlación se encontró entre el índice NDVI y el área foliar, siendo de 0,98. El monitoreo del NDVI permite identificar los cambios ocurridos en el área foliar y la humedad del suelo durante el período vegetativo del cultivo. De igual modo, la distribución espacial de los valores NDVI posibilita identificar la variabilidad de cobertura vegetal del cultivo.

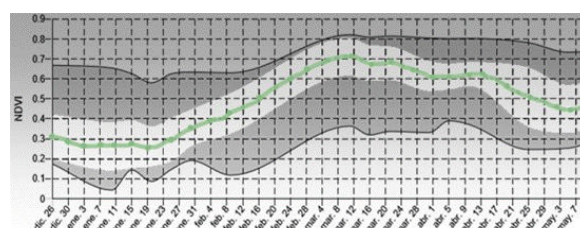


FIGURA 3. Monitoreo del índice NDVI durante el cultivo.

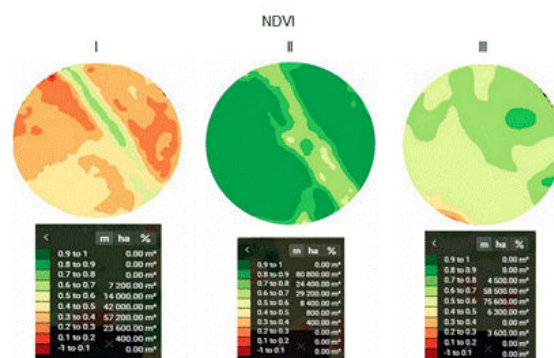


FIGURA 4. Distribución espacial del índice NDVI durante el período vegetativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EKINZOG, E. K.; M. SCHLERF; M. KRAFT; F. WERNER; A. RIEDEL; G. ROCK y K. MALLICK: "Revisiting crop water stress index based on potato field experiments in Northern Germany", *Agricultural Water Management*, vol. 269 107664, 2022. ISSN:0378-3774.
- FANG, S.; W. YU y Y. QI: "Spectra and vegetation index variations in moss soil crust in different seasons, and in wet and dry conditions", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 38 261-266, 2015. ISSN:1569-8432.
- KUNDU, R.; D. DUTTA; M. K. NANDA y A. CHAKRABARTY: "Near Real Time Monitoring of

- Potato Late Blight Disease Severity using Field Based Hyperspectral Observation", *Smart Agricultural Technology*, vol. 1 100019, 2021. ISSN:2772-3755.
- LAGO, C.; J. SEPÚLVEDA; R. BARROSO; F. FERNÁNDEZ; F. MACIÁ y J. LORENZO: "Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento.Aplicación en la Agricultura de precisión", *IDESIA*, vol. 29(1) 59-69, 2011.
- LIZARAZO, I.; J. L. RODRIGUEZ; O. CRISTANCHO; F. OLAYA; M. DUARTE y F. PRIETO: "Identification of symptoms related to potato Verticillium wilt from UAV-based multispectral imagery using an ensemble of gradient boosting machines", *Smart Agricultural Technology*, vol. 3 100138, 2023. ISSN:2772-3755.
- PERRY, C. J. y L. F. LAUTENSCHLAGER: "Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices, Remote Sensing and the Environment", *Science of The Total Environment*, vol. 3 9, 1984.
- SAFI, A. R.; P. KARIMI; M. MUL; A. CHUKALLA y C. DE FRAITURE: "Translating open-source remote sensing data to crop water productivity improvement actions", *Agricultural Water Management*, vol. 261 107373, 2022. ISSN:0378-3774.
- SHAO, G.; W. HAN; H. ZHANG; S. LIU; Y. WANG; L. ZHANG y X. CUI: "Mapping maize crop coefficient Kc using random forest algorithm based on leaf area index and UAV-based multispectral vegetation indices", *Agricultural Water Management*, vol. 252 106906, 2021. ISSN:0378-3774.
- SINHA, P.; A. ROBSON; D. SCHNEIDER; T. KILIC; H. K. MUGERA; J. ILUKOR y J. M. TINDAMANYIRE: "The potential of in-situ hyperspectral remote sensing for differentiating 12 banana genotypes grown in Uganda", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 167 85-103, 2020. ISSN:0924-2716.
- SISHODIA, R. P.; R. L. RAY y S. K. SINGH: "Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review", *Remote Sensing*, vol. 12 (19): 3136, 2020. ISSN:2072-4292.
- SOLTANIKAZEMI, M.; S. MINAEI; H. SHAFIZADEH-MOGHADAM y A. MAHDAVIAN: "Field-scale estimation of sugarcane leaf nitrogen content using vegetation indices and spectral bands of Sentinel-2: Application of random forest and support vector regression", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 200 107130, 2022. ISSN:0168-1699.
- SOUZA, F. H. Q.; P. H. A. MARTINS; T. H. DRESCH MARTINS; P. E. TEODORO y F. H. R. BAIQ: "The use of vegetation index via remote sensing allows estimation of soybean application rate", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 17 100279, 2020. ISSN:2352-9385.
- VILLARROYA-CARPIO, A.; J. M. LOPEZ-SANCHEZ y M. E. ENGD AHL: "Sentinel-1 interferometric coherence as a vegetation index for agriculture", *Remote Sensing of Environment*, vol. 280 113208, 2022. ISSN:0034-4257.
- WAGNER, W.; J. P. FRANCISCO; D. L. FLUMIGNAN; F. R. MARIN y M. V. FOLEGATTI: "Optimized algorithm for evapotranspiration retrieval via remote sensing", *Agricultural Water Management*, vol. 262 107390, 2022. ISSN:0378-3774.
- WU, J.; D. WANG y M. E. BAUER: "Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies", *Field Crops Research*, vol. 102 (1): 33-42, 2007. ISSN:0378-4290.
- ZAKERI, F. y G. MARIETHOZ: "A review of geostatistical simulation models applied to satellite remote sensing: Methods and applications", *Remote Sensing of Environment*, vol. 259 112381, 2021. ISSN:0034-4257.

Elvis López Bravo, Dr.C., Profesor Titular, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: elvislb@uclv.edu.cu.

Arley Placeres Remior, Dr.C., Profesor, Universidad Católica de Temuco, Facultad Técnica, Chile. e-mail: aplaceres@uct.cl.

Omar Rodríguez Rivero, Profesor, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: elvislb@uclv.edu.cu.

Omar González Cueto, Dr.C., Profesor Titular, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: omar@uclv.edu.cu.

Miguel Herrera Suárez, Dr.C., Profesor Titular, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador. e-mail: miguelhs2000@yahoo.com.

The authors of this work declare no conflict of interests.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** Elvis López Bravo. **Data curation:** Elvis López Bravo, Arley Placeres Remior. **Formal analysis:** Elvis López Bravo, Arley Placeres Remior, Omar González Cueto. **Investigation:** Elvis López Bravo, Arley Placeres Remior, Omar González Cueto. **Methodology:** Elvis López Bravo, Miguel Herrera Suárez. **Supervision:** Elvis López Bravo, Omar González Cueto. **Validation:** Miguel Herrera Suárez, Arley Placeres Remior. **Writing, original draft:** Elvis López Bravo, Omar Rodríguez Rivero. **Writing, review & editing:** Arley Placeres Remior Miguel Herrera Suárez.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.