

Monitoreo del cultivo de la caña de azúcar mediante imágenes satelitales

Monitoring of Sugarcane Cultivation Using Satellite Images



CU-ID: 2177/v31n3e05

✉Elvis López Bravo^{I*}, ✉Arley Placeres Remior^{II}, ✉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}Facultad Técnica. UC Temuco, Chile.

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

RESUMEN: En el presente trabajo se utilizan los índices de vegetación, obtenidos a partir de imágenes satelitales, en el seguimiento del cultivo de la caña de azúcar. El estudio se realizó en una plantación cañera del municipio de Camajuaní, Cuba, en un área de 5,5 ha plantada de la variedad CP 52-43. Durante el período vegetativo del cultivo, se realizó el seguimiento del crecimiento mediante mediciones en el campo del ancho de la hoja, el diámetro y la altura del tallo, la humedad del suelo y el espesor de la cobertura vegetal, empleando el método de distribución diagonal doble. Para el monitoreo con imágenes satelitales, se emplearon los servicios disponibles en el sistema *Earth Observed System* (EOS). Los índices evaluados fueron: NDVI, SAVI, EVI y NDWI. La etapa inicial del cultivo se caracterizó por bajos valores de humedad del suelo y desarrollo foliar de las plantas, los índices EVI y NDVI mostraron resultados acordes al bajo desarrollo vegetativo del área, con valores entre 0,2 y 0,4, en tanto el NDWI se identificó con un suelo seco. En la etapa lluviosa, después del cuarto mes del cultivo, la humedad alcanzó valores de 42,9% y tuvo lugar un incremento de la altura, el diámetro del tallo y el ancho de las hojas, el índice EVI alcanza valores de 0,6 a 0,8 en el 74,4% del cultivo, de igual modo el índice NDVI mostró valores de 0,7 a 0,8. Por su parte el índice NDWI mostró valores entre -1 y -0,6 lo que no se ajusta a las condiciones de humedad imperantes. Mediante el monitoreo con el satélite Sentinel-2, se logró una representación más estable del aumento de la vegetación, así como valores más adecuados del estado inicial y final del mismo.

Palabras clave: índice vegetativo, cosecha, espectral, agricultura.

ABSTRACT: In the present work, the vegetation indices obtained from satellite images are used to monitoring sugarcane crop. The study was carried out in 5,5 ha of sugarcane field, planted with CP 52-43 variety located in Camajuaní Municipality, Cuba. Vegetative evolution of the plantation was monitored by field measurements of leaf width, stem diameter, stem height, soil moisture and vegetal cover, using the diagonal distribution method for samples collection. The services available in Earth Observed System (EOS) were used to obtain images of vegetative index of: NDVI, SAVI, EVI and NDWI. The initial stage of crop was characterized by low values of soil moisture and foliar development of sugarcane plants, EVI and NDVI indices showed results according to the low vegetative development with values between 0,2 and 0,4, while NDWI agreed with dry soil. In the rainy season, after the fourth month of the plantation, an increase in soil moisture to 42,9% took place, the plants' biophysics parameters: stem height, stem diameter and leaf width also increased, EVI index reached between 0,6 and 0,8 in 74,4% crop area and in the same way NDVI index showed values between 0,7 to 0,8. However, NDWI index showed values between -1 and -0.6 belonging to dry soil, no matching with the actual moisture conditions. Through monitoring with Sentinel-2 satellite, a more stable representation of the increase in vegetation was achieved, as well as more adequate values of the initial and final state of the crop were obtained.

Keywords: Vegetative Index, Harvest, Spectral, Agriculture.

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

Recibido: 23/11/2021

Aceptado: 24/06/2022

INTRODUCCIÓN

El empleo de la percepción remota es cada vez más extendido en el análisis y gestión de los recursos naturales. Su empleo está relacionado a la disponibilidad de imágenes satelitales en series temporales en los espectros visibles, infrarrojos y ultravioleta. De igual modo ha contribuido el creciente número de satélites puesto en órbita con sensores de imagen térmica, multiespectrales e hiperespectrales (Triantafyllou *et al.*, 2019; Segarra *et al.*, 2020). Mediante el monitoreo con sensores remotos se ha logrado realizar una caracterización biofísica de la vegetación de la superficie, el estado de los suelos y la humedad. Debido a las propiedades ópticas de las hojas, la absorción en la banda espectral del rojo del espectro electromagnético es muy alta, mientras que reflejan o dispersan la mayor parte en la banda del infrarrojo cercano (Xie *et al.*, 2019).

Numerosas investigaciones en este campo han mostrado la existencia de relaciones empíricas entre la información del sensor y las propiedades biofísicas como la biomasa, la cobertura foliar y el contenido de humedad de la superficie (Gutierrez *et al.*, 2018; Hatfield *et al.*, 2019; De Grave *et al.*, 2020; Sishodia *et al.*, 2020). Los índices de vegetación (IV) se calculan a través de la combinación entre las bandas roja e infrarroja cercana de muestreo del espectro electromagnético. Así, las relaciones empíricas calculadas entre las variables biofísicas de los cultivos y los IV reflejan patrones generales o tendencias entre las propiedades ópticas de los cultivos y su arquitectura respecto a la distribución espacial y angular de los fitoelementos del follaje para una geometría sensor-iluminación dada (Kharuf *et al.*, 2018).

En Cuba el cultivo de la caña de azúcar se realiza de forma extensiva y tiene un alto valor en la economía con la producción de azúcar crudo y refino. Los subproductos del proceso industrial son empleados como materia prima en la industria alimentaria, la química, la energía entre otras. Como parte de la modernización del cultivo de la caña de azúcar se han introducido mejoras en las variedades, en las tecnologías para el riego y en la cosecha y el

transporte (Alvarez, 2014). Se han aplicado además técnicas de la agricultura de precisión en sistemas de fertilización, riego y control sanitario (Gutierrez *et al.*, 2018). En este sentido se realizan estudios encaminados a identificar las principales plagas, así como el efecto de la sequía en las plantaciones cañeras, donde se han empleado imágenes espectrales tomadas por drones y la combinación de imágenes espectrales. En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la efectividad del monitoreo del cultivo de la caña de azúcar mediante índices espectrales obtenidas de imágenes satelitales, a partir de su correlación con el desarrollo en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Juan Verdecia", municipio de Camajuaní, Villa Clara. Para el monitoreo del cultivo se seleccionó el campo número 3, ubicado en las coordenadas 22°26'55" Norte y 79°41'48" Oeste, con un área de 5,5 ha plantada de la variedad de caña de azúcar CP 52-43 (Figura 1) y rendimiento promedio de 35 t/ha. La cosecha previa tuvo lugar el 09 de enero de 2021 y se empleó para ello una combinada KTP-2M y el camión ZIL-130.

Metodología para las mediciones en campo

El control del crecimiento del cultivo se realizó para determinar la efectividad de las mediciones satelitales. Para ello se empleó el método de distribución diagonal doble o en X (Flores, 2006), para lo cual se tomaron nueve puntos experimentales los cuales fueron georreferenciados mediante GPS para una precisión de 0,2 m. Las variables controladas en las plantas fueron: ancho de la hoja, diámetro del tallo y altura del tallo. Además, se realizó la medición de la humedad del suelo y espesor de la cobertura vegetal. Para la determinación de las dimensiones de la planta y la cobertura del suelo se tomaron ocho muestras en cada punto experimental y se realizaron cuatro repeticiones, para ello se empleó la cinta métrica, la regla graduada



FIGURA 1. Campo seleccionado para el monitoreo.

y el calibrador vernier con apreciación de 1 mm y 0,05 mm respectivamente (Figura 2a y 2b).

La humedad en base al suelo seco (hbss) %, se determinó por el método gravimétrico. Las mediciones se realizaron en el camellón próximo a la cepa de caña (Figura 2c). En cada punto experimental se realizaron cuatro mediciones a una profundidad de 0 a 10 cm. La humedad de las muestras se determinó en el laboratorio según lo establecido en la norma [NC 3437:2003](#).

Metodología para el monitoreo satelital

Para el monitoreo mediante imágenes satelitales del área de estudio se configuró una parcela de estudio georeferenciada mediante los servicios disponibles en el sistema *Eart Observed System* (EOS) disponible en el sitio <https://eos.com>. Los índices a los cuales se le realizó el monitoreo durante el período vegetativo de la plantación de caña fueron: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Vegetación Ajustado del Suelo (SAVI), Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI). Las imágenes de la distribución espacial de los índices fueron obtenidas del repositorio del sistema *LandViewer*, calculadas a partir de las imágenes espectrales tomadas por los sensores de los satélites de reconocimiento terrestre *LandSat* y *Sentinel-2*.

Con los datos de las mediciones de campo y los índices espectrales del cultivo, se determinaron los estadígrafos de las diferentes variables, se realizó el análisis de correlación múltiple y de regresión para un intervalo de confianza del 95%, para ello se empleó el programa estadístico *Centurion Plus*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado de las mediciones en el campo

En el seguimiento a la evolución de los indicadores fisiológicos del cultivo mediante las mediciones realizadas en el campo, se aprecia un incremento limitado de los mismos desde la cosecha hasta el mes de abril, como muestra la [Figura 3](#). En este sentido, se puede apreciar que a partir de esta fecha tiene lugar un incremento gradual del ancho de la hoja, el diámetro y

la altura del tallo. Este incremento se hace más evidente en las mediciones realizadas a la altura del tallo. Estos tres indicadores muestran un patrón similar hasta los nueve meses del cultivo, a partir del cual tiene lugar una disminución gradual.

La cobertura del suelo tiene su valor máximo después de la cosecha, como resultado del proceso de limpieza que realiza la cosechadora durante el corte ([Aguilar-Pardo et al., 2016](#)). Los fragmentos de hojas y cogollos alcanzan una altura promedio 5,6 cm, formando una capa de residuos distribuidos parcialmente uniformes sobre el suelo. En el segundo mes del cultivo se aprecia una reducción de la cobertura como resultado del primer cultivo mecanizado, posteriormente la reducción de la cobertura tiene lugar de forma gradual, como parte del proceso de descomposición con el aumento de la humedad del suelo. Una nueva disminución de la cobertura tiene lugar en el mes siete del cultivo, causado por la segunda operación de cultivo mecanizado lo cual reduce hasta un valor de 0,2 cm la capa superficial sobre el suelo.

Las mediciones realizadas a la humedad del suelo durante todo el crecimiento del cultivo ([Figura 4](#)), muestran el tránsito del período seco al lluvioso, imponiendo dos condiciones fundamentales de humedad para el cultivo. Como resultado, el valor promedio de la humedad en los primeros cuatro meses del cultivo fue de 18,9 % , como resultado de la ausencia de precipitaciones, lo que redujo la disponibilidad de los micronutrientes y minerales en el suelo y con ello el crecimiento de los nuevos retoños ([Taiz y Zeiger, 2006](#)). En el quinto mes del cultivo, tuvieron lugar las primeras precipitaciones en la zona y con ello el aumento de la humedad del suelo a un valor promedio de 42,9% para el resto de la temporada, la cual se mantuvo estable en ese rango debido a la contribución de las lluvias y el follaje de la plantación.

Resultado de los índices espectrales

En la [Figura 5](#) se muestran las imágenes espectrales de los índices evaluados al comienzo del estudio. El índice EVI alcanza valores entre 0,3 y 0,6 localizados fundamentalmente en la zona central del campo y



FIGURA 2. Mediciones de los parámetros del cultivo y la humedad.

valores entre 0,2 y 0,3 en la periferia del mismo. En ambos casos estos valores se relacionan con la presencia de vegetación de baja densidad sin daños de plagas u otra naturaleza. (Wang *et al.*, 2010). Con un patrón similar de distribución al EVI, el índice NDVI muestra en la zona central del cultivo valores entre 0,4 y 0,5 y en la periferia valores entre 0,3 y 0,4 lo que caracteriza una vegetación de limitado desarrollo para ambos casos (Gilbert *et al.*, 2002). El índice de vegetación SAVI muestra una distribución regular de valores en el rango de 0,2 a 0,3 en toda la superficie

del campo. El índice NDWI muestra valores en el rango de -0,6 y 0,3 lo que corresponde a un suelo seco y un contenido bajo de humedad en la biomasa (Senay *et al.*, 2014).

Las imágenes espectrales tomadas en la etapa final del cultivo (Figura 6), muestran que el índice EVI alcanza valores de 0,6 a 0,8 en el 74,4% del cultivo, de igual modo el índice NDVI muestra valores de 0,7 a 0,8 lo cual representa la presencia de abundante vegetación y se corresponde con el desarrollo foliar que alcanza la plantación según las mediciones

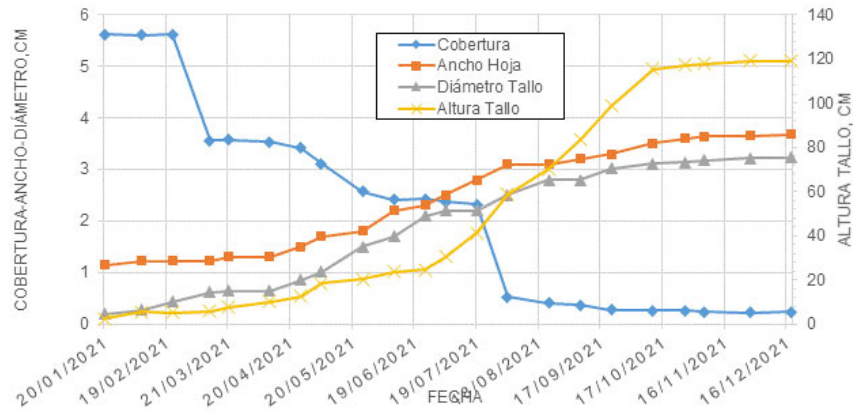


FIGURA 3. Evolución de los indicadores de crecimiento del cultivo y la cobertura.

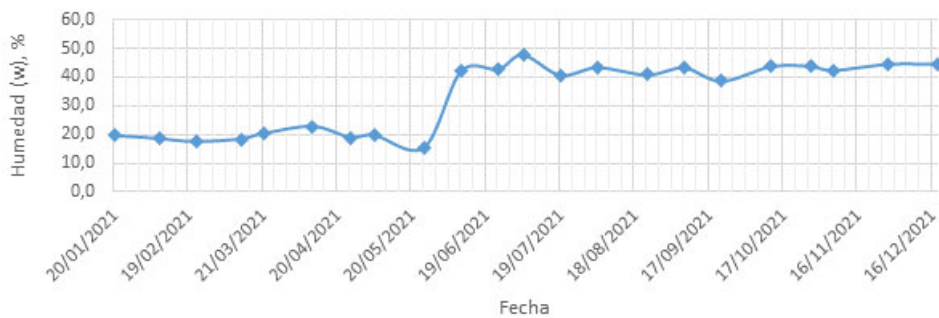


FIGURA 4. Comportamiento de la humedad del suelo.



FIGURA 5. Índices espectrales de la etapa inicial en cultivo de caña.

realizadas. Por su parte, el índice SAVI muestra valores entre 0,3 y 0,6 lo cual subvalora la densidad de la biomasa existente.

Con respecto al contenido de agua de la biomasa y el suelo, el índice NDWI muestra que predominan los valores entre -1 y -0,6. A pesar de que el suelo en esta etapa tiene un contenido de humedad mayor al 40%, y el contenido de agua en la gramínea durante el estado de maduración es mayor al 70% (Rosell Pardo y Ramírez Rubio, 2021).

Análisis de la variabilidad de los índices espectrales

Como puede apreciarse en los valores del índice NDVI de los satélites *LandSat* y *Sentinel* (Figura 7), entre las fechas que enmarcan el estudio se aprecia que en ambos casos los valores obtenidos representan un incremento de la vegetación respecto al valor inicial. Se identifican dos etapas divididas por el quinto mes del cultivo donde el NDVI pasa de un valor promedio de 0,33 a 0,65. Este incremento coincide con el comienzo de las precipitaciones, donde el aumento de la biomasa se refleja en las variables de crecimiento del cultivo según el estudio de campo realizado. No obstante, mediante el monitoreo con el *Sentinel* se logra una representación más estable del aumento de la vegetación, así como

valores más adecuados del estado inicial y final del cultivo. La fluctuación de los datos del *LandSat* en el quinto y décimo mes del cultivo no se corresponde con cambios en la vegetación, siendo atribuibles a la dispersión de las ondas electromagnéticas por el efecto de la radiación de la atmósfera y del suelo (Wang et al., 2010).

En el monitoreo de la humedad con el índice NDWI, en ambos casos se obtienen valores iniciales entre -0,35 y -0,4, lo que identifica un suelo seco, lo cual coincide con los valores de humedad del suelo obtenidos de forma experimental (Figura 8). A partir del quinto mes este índice decrece hasta valores de -0,65 en el séptimo mes del cultivo y se mantienen bajos hasta finalizar el estudio. Con el crecimiento foliar de la caña se dificulta la adquisición de los valores de reflectancia del suelo, hasta el quinto mes del cultivo los valores se corresponden con el estado de suelo seco. Con el comienzo de la primavera, el NDWI comienza a reflejar la humedad contenida en la biomasa, con un ligero aumento en la misma a medida que el cultivo se desarrolla. No obstante, a la imposibilidad de monitorear la humedad del suelo, se logra identificar la etapa de modificación de la humedad, la cual coincide con los estudios de campo.

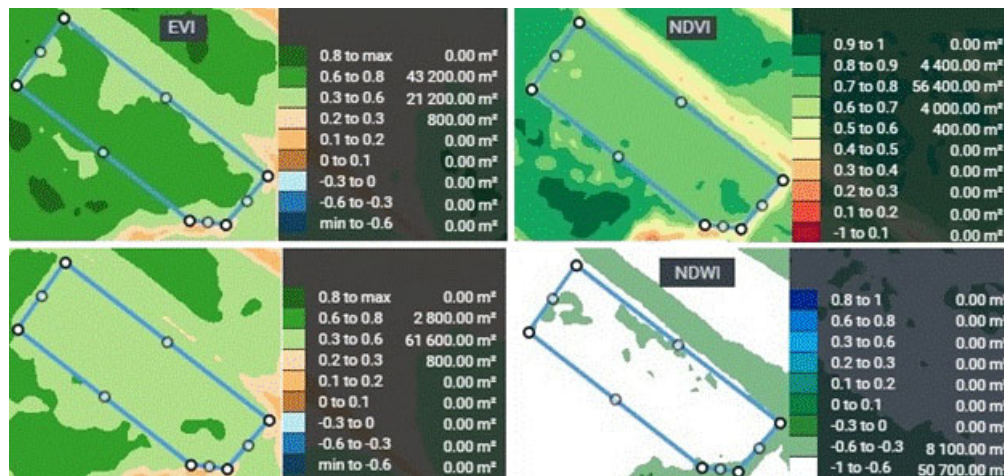


FIGURA 6. Índices espectrales de la etapa final en cultivo de caña.

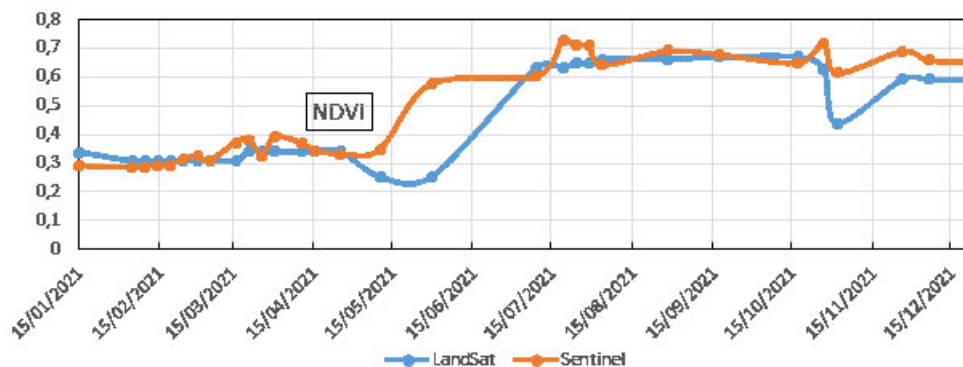


FIGURA 7. Valores del índice NDVI obtenidos de los sensores *LandSat* y *Sentinel*.

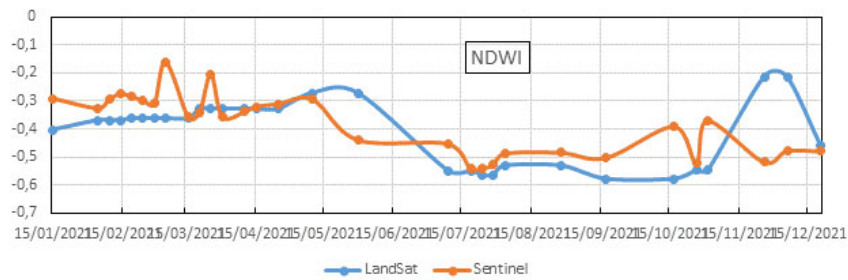


FIGURA 8. Valores del índice NDWI obtenidos de los sensores *LandSat* y *Sentinel*.

Correlación entre los índices y las mediciones de campo

En la [Tabla 1](#) se muestra la correlación entre los índices espectrales y las variables de crecimiento a través del coeficiente de correlación de Pearson. En este sentido, la correlación más fuerte con el NDVI se obtiene respecto al diámetro del tallo, alcanzando un valor de 0.93, seguido del ancho de la hoja, la humedad del suelo y la altura del tallo. Es de destacar que todos los coeficientes obtenidos, excepto la cobertura, tienen valores positivos. No obstante, tanto la humedad del suelo como la cobertura del mismo no tienen un vínculo directo a la respuesta espectral del estado vegetativo de las plantas por lo que la correlación con el NDVI se establece con mayor claridad respecto a las restantes variables. De igual modo en la correlación entre NDVI y NDWI se obtiene un valor próximo a -1, lo que evidencia la baja interdependencia entre estos dos índices. Con respecto al índice NDWI se obtiene solamente una correlación positiva, la cobertura del suelo con un valor de 0,67, en los demás parámetros se obtienen valores negativos. A pesar de que la humedad del suelo es el parámetro que mayor relación guarda con el NDWI, la correlación obtenida es de -0,817, el desarrollo del follaje de las plantas constituye uno de los factores que impiden que se establezca la predicción de humedad adecuada.

El modelo ajustado del análisis de regresión lineal entre el diámetro de los tallos y el índice NDVI se muestra en la [Figura 9](#). Mediante el mismo es posible realizar un adecuado pronóstico del estado de desarrollo del cultivo a partir de los valores NDVI con un coeficiente de determinación R² de 87,6%.

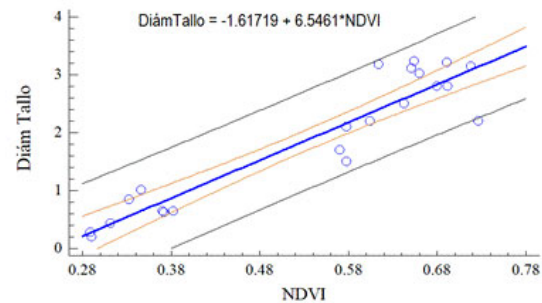


FIGURA 9. Modelo de predicción del diámetro del tallo de las plantas respecto al NDVI.

Asimismo en la [Tabla 1](#) se muestra una elevada correlación del diámetro del tallo con la altura y con el ancho de la hoja, lo que posibilita la predicción del estado general de desarrollo del cultivo.

CONCLUSIONES

En la evolución de los indicadores fisiológicos del cultivo en el campo, se distingue una etapa de cuatro meses iniciales caracterizada por un desarrollo limitado de los mismos, con valores de humedad promedio del suelo de 18,9 %.

Los índices EVI, NDVI y NDWI muestran resultados acordes a las condiciones predominantes en los primeros cuatro meses del cultivo.

Luego de iniciar las precipitaciones, se muestra un incremento en las variables biofísicas del cultivo, reflejados en altos valores de los índices EVI y NDVI en tanto el índice NDWI no se ajusta a las condiciones de humedad imperantes.

TABLA 1. Correlación entre las variables

índice		Alto Tallo	Cobertura	Diám Tallo	Ancho Hoja	Hum. Suelo	NDVI	NDWI
NDVI	Coef.Pearson	0.782	-0.896	0.936	0.911	0.873		-0.873
	P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
NDWI	Coef.Pearson	-0.491	0.675	-0.734	-0.686	-0.817	-0.873	
	P-Value	0.020	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
Diám Tallo	Coef.Pearson	0.9273	-0.9585		0.9900	0.8883	0.9363	-0.733
	P-Value	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

Se obtiene una alta correlación entre la variable de diámetro del tallo y el índice NDVI descrita por un modelo de regresión lineal con un ajuste de 97%.

Mediante el monitoreo con el satélite Sentinel-2, se logra una representación más estable del aumento de la vegetación, así como valores más adecuados del estado inicial y final del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, P. A.; PÉREZ, J. A.; AGUILAR, D.: "Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de toda la biomasa en las bioeléctricas. Parte I", *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 50 (3): 3-8, 2016. ISSN:0138-6204.
- ALVAREZ, A.: Consideraciones económicas sobre algunas de las principales prácticas agronomicas en caña de azúcar. En: 50 aniversario del INICA, pp. 148, La Habana, Cuba. 2014.
- DE GRAVE, C.; VERRELST, J.; MORCILLO, P.; PIPIA, L.; RIVERA, J. P.; AMIN, E.; MORENO, J.: "Quantifying vegetation biophysical variables from the Sentinel-3/FLEX tandem mission: Evaluation of the synergy of OLCI and FLORIS data sources", *Remote Sensing of Environment*, vol. 25 (1): 112-101, 2020. ISSN:1879-0704.
- FLORES, J. R. N.: *Diseño experimental: Aplicaciones en agricultura*, 316pp., Costa Rica, Editorial UCR, 2006, ISBN: 9789-9776-78900.
- GILABERT, M. A.; GONZÁLEZ, J.; GARCIA, F. J.; MELIÁ, J.: "A generalized soil-adjusted vegetation index.", *Remote Sensing of Environment*, vol. 82 (1): 303-310, 2002. ISSN:1879-0704.
- GUTIERREZ, S. K.; SANTANA, L. H.; MORALES, R. O.; O. DÍAZ, A. MORA, I. D.: "Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados en agricultura de precisión", *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 39 (2): 2018. ISSN:1815-5928.
- HATFIELD, J. L. PRUEGER, ; J. H.; SAUER, T. J.; DOLD, C.; O'BRIEN, P; WACHA, K.: "Applications of Vegetative Indices from Remote Sensing to Agriculture: Past and Future", *Inventions*, vol. 4 (4): 71, 2019. ISSN:2411-5134.
- KHARUF, G. S.; HERNÁNDEZ, L.; OROZCO, R.; ADAY, O. D. L. C.; DELGADO, M. I.: "Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados", *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 39 (1): 79-91, 2018. ISSN:1815-5928.
- NC 3437:2003: *Máquinas Agrícolas y Forestales. Metodología para la determinación de las condiciones de ensayo.*, Vig. Septiembre 2003.
- ROSELL, P. R.; RAMÍREZ, A: "Evaluación de la frescura de la caña de azúcar para minimizar pérdidas industriales (Original)", *Redel. Revista Granmense de Desarrollo Local*, vol. 5 (2): 107-119, 2021. ISSN:2664-3065.
- SEGARRA, J.; BUCHAILLOT, M. L.; JARAUS, . L. KEFAUVER, S. C.: "Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications", *Agronomy*, vol. 10 (5): 641, 2020. ISSN:2073-4395.
- SENAY, G.; WARD, A.; LYON, J.; FAUSEY, N. NOKES, S.: "Manipulation of high spatial resolution aircraft remote sensing data for use in site-specific farming", *Transation of ASAE*, vol. 41 (1): 489-495, 2014. ISSN:0001-2351., S. K.
- SISHODIA, R. P.; RAY, R. L. SINGH: "Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review", *Remote Sensing*, vol. 12 (19): 31-36, 2020. ISSN:1879-0704.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.: *Fisiología vegetal*, Universitat Jaume I, 2006, ISBN: 9788480216012.
- TRIANAFYLLOU, A.; SARIGIANNIDIS, P.; BIBI, S.: "Precision Agriculture: A Remote Sensing Monitoring System Architecture", *Information*, vol. 10 (11): 348-354, 2019. ISSN:2078-2489.
- WANG, F.; HUANG, J.; CHEN, L.: "Development of a vegetation index for estimation of leaf area index based on simulation modeling", *Journal of Plant Nutrition*, vol. 33(3):328-338 2010. ISSN:0190-4167.
- XIE, Q.; DASH, J.; HUETE, A.; JIANG, A.; YIN, G.; DING, Y., HUANG, W.: "Retrieval of crop biophysical parameters from Sentinel-2 remote sensing imagery", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 80 (1): 187-195, 2019. ISSN:0303-2434.

Elvis López-Bravo, 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, Profesor, UC Temuco, Facultad Técnica, Chile, e-mail: aplaceres@uct.cl
Omar González-Cueto, 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, Profesor Titular, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador. e-mail: miguelhs2000@yahoo.com

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. **Writing, review & editing:** Arley Placeres Remior Miguel Herrera Suárez.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

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.