

Validación de índices espectrales de humedad mediante imágenes del Landsat 8 OLI/TIRS en un Vertisol



Validation of Spectral Moisture Indexes Using Landsat 8 OLI/TIRS Images in a Vertisol

<https://cu-id.com/2177/v32n4e01>

ⁱRoberto Alejandro García-Reyes^{I*}, ⁱⁱJuan Alejandro Villazón-Gómez^{II},
ⁱⁱⁱMaría Elena Ruíz-Pérez^{III}, ^{iv}Mirna Cruz-Pérez^{II}

^IMinisterio e la Agricultura, Delegación Provincial de Holguín, Departamento de Suelos y Fertilizantes, Holguín, Cuba.

^{II}Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR), Holguín, Cuba.

^{III}Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La teledetección es una herramienta geomática que ha sido utilizada para determinar la humedad del suelo, propiedad física muy importante en estudios relacionados con la producción agropecuaria. Particularmente, los Vertisoles presentan características distintivas a otros agrupamientos de suelos en Cuba con relación a la retención de agua y el cambio de sus propiedades. El objetivo de la investigación se basó en validar el uso de índices espectrales de humedad mediante imágenes del Landsat 8 OLI/TIRS en un Vertisol. Se escogió un área bajo pasto natural, caña de azúcar y bosque secundario de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Guaro, Holguín. Se establecieron tres puntos de muestreo aleatorios georreferenciados por cada uso de la tierra hasta una profundidad de 30,0 cm, para la determinación de la humedad gravimétrica la cual, se relacionó mediante análisis de regresión lineal con los índices espectrales de humedad y el cálculo de parámetros para su validación. El uso de la teledetección mostró en los mapas temáticos obtenidos de la estimación de la humedad con los diferentes índices espectrales la presencia de zonas homogéneas y su variabilidad espacial en el estado de humedad del Vertisol bajo los tres usos de la tierra. Los índices ENDWI, MSI y EMSI indicaron una mejor estimación en los estadígrafos utilizados para la validación de los valores obtenidos por teledetección y muestreos *in situ* de la humedad, de acuerdo a investigaciones relacionadas con la temática.

Palabras clave: humedad gravimétrica, suelo, teledetección, índice espectral.

ABSTRACT: Remote sensing is a geomatic tool that has been used to determine soil moisture, a very important physical property in studies related to agricultural production. Particularly, the Vertisol present distinctive characteristics to other groupings of soils in Cuba in relation to water retention and the change of their properties. The objective of the research was validating the use of spectral moisture indexes through Landsat 8 OLI/TIRS images in a Vertisol. An area under natural grass, sugarcane and secondary forest of the Provincial Sugarcane Research Station in Guaro, Holguín was chosen. Three georeferenced random sampling points were established for each land use up to a depth of 30.0 cm, for the determination of gravimetric moisture, which was related by means of linear regression analysis with the spectral indexes of moisture and the calculation of parameters for validation. The use of remote sensing showed in the thematic maps obtained from the estimation of moisture with the different spectral indexes, the presence of homogeneous zones and their spatial variability in the moisture state of the Vertisol under the three land uses. ENDWI, MSI and EMSI indexes indicated a better estimation in the statistics used for the validation of the values obtained by remote sensing and *in situ* sampling of moisture, according to research related to the subject.

Keywords: Gravimetric moisture, Remote Sensing, Soil.

*Author for correspondence: Roberto Alejandro García-Reyes, e-mail: ralejandro9409@gmail.com

Recibido: 01/02/2023

Aceptado: 01/09/2023

INTRODUCCIÓN

La humedad de los suelos es crucial en el nexo que existe en el intercambio de agua, energía y carbono entre la superficie del suelo y la atmósfera. Diversos estudios plantean el uso de esta propiedad física del suelo como un importante factor a tener en cuenta al realizar estudios acerca del monitoreo de la sequía, estimación de la evapotranspiración, intervalos de riego, evaluación del rendimiento de los cultivos, manejo forestal, entre otros (Qiu *et al.*, 2019).

Los Vertisoles son de gran importancia en nuestro país y mayormente son utilizados en la producción de caña de azúcar y pastos naturales para la ganadería, ocupando este agrupamiento de suelos un área de 9060 km² divididos en Vertisol Crómico (860 km²) y Vertisol Pélico (8200 km²) según Hernández *et al.* (2015); Hernández, (2021). También pueden ser muy productivos pero con restricciones para el manejo cuando están húmedos, con bajas tasas de infiltración y conductividad hidráulica, lo cuales pueden ser susceptibles a la erosión y al escurrimiento. Presentan pobre aeración, se vuelven muy adhesivos y el exceso de agua en el suelo dificulta las operaciones de labranza, siembra y cosecha, como así también el tráfico de implementos agrícolas. Sin embargo, cuando están secos se vuelven muy densos y duros, con altas tasas de infiltración debido a la presencia de grietas que pueden ser muy importantes en ancho y profundidad (Wilson y Cerana, 2004).

Cid *et al.* (2016) plantea que la naturaleza de la relación agua-suelo en los Vertisoles tiene un efecto notable en el manejo del agua en los mismos, particularmente cuando son irrigados. El efecto de las grietas en la infiltración y la aireación y los cambios en la densidad aparente con el contenido de agua son característicos de este tipo de suelo que deben valorarse de conjunto para una adecuada gestión del agua.

La humedad presente en el suelo puede determinarse mediante estimaciones puntuales, sensoramiento remoto o mediante modelos de simulación. Cada uno de estos métodos tiene aparejados algunos inconvenientes, ya sea en cuanto a la exactitud y precisión de las estimaciones o en cuanto a la escala en espacio-tiempo de las mismas, elementos estos poco conciliables (Hernández-Pereira y Medina-González, 2012). Los métodos de teledetección para la estimación de la humedad del suelo dependen principalmente de la relación entre la humedad del suelo, las características dieléctricas de un objetivo específico y los receptores de radar; los cuales tienen la capacidad de adquirir datos bajo casi cualquier condición meteorológica y sin una fuente externa de iluminación (Bao *et al.*, 2018).

Existen principalmente tres grupos de modelos que aplican datos sensoramiento remoto para la estimación de la humedad del suelo: modelos de retrodispersión,

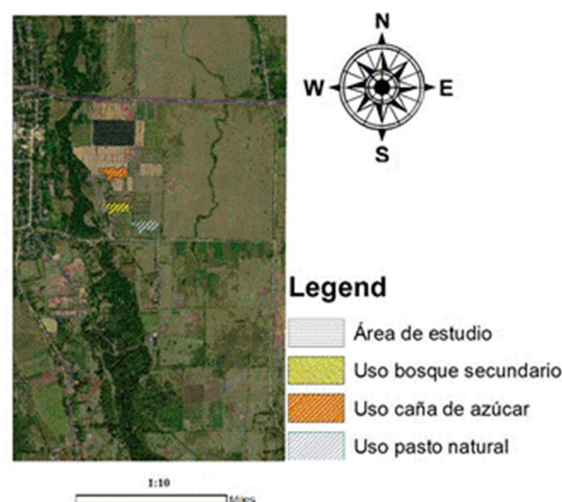


FIGURA 1. Ubicación del Bloque Experimental de Guaro, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Holguín tomada del SAS Planet (SAS.Planet.Nightly.200718.10081/geojamal.com).

técnicas de análisis estadístico y aplicación de redes neuronales; los cuales pueden verse afectados por la superficies con vegetación, debido a que las microondas activas se ven fuertemente afectadas por la rugosidad de la superficie y la vegetación (Zhan *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2014; Champagne *et al.*, 2016).

El satélite Landsat 8 OLI/TIRS del Servicio Geológico de los Estados Unidos, presenta un total de 11 bandas. Por su cúmulo y el tiempo, las imágenes Landsat tienen una resolución espacial de 30 m, resolución temporal de 16 días y una cobertura del terreno de 185 km. Por las razones antes expuestas el objetivo de la investigación se basó en validar el uso de índices espectrales de humedad en un Vertisol con el uso de imágenes del Landsat 8 OLI/TIRS.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo de la humedad del suelo se desarrolló en áreas del Bloque Experimental de Guaro, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Holguín, en un Vertisol Crómico cálcico y gléyico, medianamente lavado (Hernández *et al.*, 2015). Se escogió un área bajo tres usos de la tierra (pasto natural, caña de azúcar y bosque secundario) y se establecieron tres puntos de muestreo aleatorios por uso de la tierra los cuales fueron georreferenciados (Figura 1).

En cada punto de muestreo se abrió una calicata de 30 cm de profundidad y se tomaron muestras inalteradas de suelo con un cilindro de 105,35 cm³, colocadas en pesafiltros, se les determinó la masa de suelo húmedo y se pusieron en una estufa a 105°C,

hasta que alcanzaron un peso constante (masa de suelo seco). La humedad gravimétrica, se determinó a partir de la ecuación:

$$\theta_g = \frac{msh - mss}{mss} \quad (1)$$

Donde θ_g es la humedad gravimétrica; msh es la masa del suelo húmedo y mss es la masa del suelo seco.

Para hacer coincidir lo más próximo a la fecha en que se realizó el muestreo, se descargó del sitio www.usgs.gov una imagen (LC08_L1TP_011046_20190613_20190619_01_T1.tar) del satélite comercial Landsat 8 OLI/TIRS en el sistema WGS 84 UTM Zona 18 Norte cuadrícula 011/046. A dicha imagen se le realizó la corrección radiométrica y el cálculo de los siguientes índices espectrales de humedad en el software QGIS 3.10 A Coruña (Tabla 1).

Para la validación de los índices espectrales de humedad se realizó un análisis de regresión lineal entre los valores de humedad gravimétrica y los estimados por los índices con la utilización del software Statgraphics Plus 5.0. Se tuvo en cuenta para la validación de los modelos matemáticos obtenidos, la metodología propuesta por [Singh et al. \(2019\)](#) con el uso del satélite Landsat 8 OLI/TIRS, el cual reduce los efectos de la cobertura vegetal sobre los valores reflejados de humedad por este sensor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Figura 2](#) muestra los mapas temáticos obtenidos de la estimación de la humedad del suelo por cada índice espectral y cómo este parámetro varía en el área estudiada a partir de los colores que toman las zonas de mayor, media y bajo valores de humedad en el suelo. Existen zonas homogéneas en cada mapa temático, además de mostrar diferencias significativas en los colores que toman los píxeles en cada una de las imágenes obtenidas.

[Silva et al. \(2016\)](#) plantean que el uso del uso del suelo en un sistema de producción se encuentra influenciado por las propiedades hidrofísicas de ahí que el manejo de este suelo debe de tener en cuenta, la retención del agua, debido a que esta característica modifica su estructura y puede ser utilizada en

investigaciones para determinar el impacto del manejo en las propiedades del suelo.

Investigaciones realizadas sobre el estado de humedad en Vertisoles, refieren la necesidad de realizar estudios a diferentes profundidades donde se apliquen herramientas geoestadísticas, pues los realizados de esta variable se basan fundamentalmente en determinar el contenido de humedad del suelo de muestras en dos puntos del territorio a una profundidad de 60 cm con una barrena, con período decenal por lo que no se ofrece una idea de cómo se distribuyen los valores en toda el área ([Cumbreira-González et al., 2015](#)).

La [Figura 3](#) ilustra los modelos de regresión lineal de los valores de humedad gravimétrica con respecto a los índices espectrales de humedad, en los que de forma general se mostró un ajuste a una distribución lineal. Los modelos describen una alta asociación positiva entre las variables medidas con una marcada dependencia lineal entre la variable dependiente y la independiente.

El uso del sensoramiento remoto aplicado a estudios de humedad del suelo muestra la relación entre las bandas electromagnéticas Infrarroja cercana (Near Infrared; NIR) la Roja (Red), según estudios realizados por [Amani et al. \(2016\)](#). En su estudio validaron dos índices espectrales TSMI y MTSMI (Triangle Soil Moisture Index y Modified TSMI) con imágenes del Landsat 8 OLI/TIRS, donde refieren una alta relación de 64 % a un 74 % entre la humedad determinada por teledetección con la muestreada mediante el método tradicional a una profundidad de 0 a 5 cm.

Basado en imágenes multispectrales de los satélites Sentinel-1 y Landsat 8, [Alexakis et al. \(2017\)](#) estimaron la humedad del suelo y obtuvieron coeficientes de determinación entre 70 % y un 90 % lo cual demostró la validación de este método en su investigación.

La [Tabla 2](#) muestra el resultado del análisis de regresión lineal de la humedad gravimétrica y los índices espectrales de humedad. Se muestra una alta determinación con valores cercanos al 100% al igual que los del coeficiente de correlación positiva con valores cercanos a 1, lo cual se explica en la

TABLA 1. Índices espectrales de humedad calculados

Índices espectrales de humedad	Referencias	Ecuación
LSWI (Índice de Diferencia Normalizada de Humedad en Vegetación y Suelo)	Mohammadi et al. (2017)	$LSWI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \quad (2)$
ENDWI (Índice mejorado de agua)	Chen et al. (2005)	$ENDWI = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (3)$
MSI (Índices de deficiencia de humedad)	Domínguez et al. (2017)	$MSI = \left(\frac{SWR1}{NIR} \right) \quad (4)$
EMSI (Índice mejorado de deficiencia de humedad)	Domínguez et al. (2017)	$EMSI = \left(\frac{SWIR2}{NIR} \right) \quad (5)$

NIR.: Infrarrojo cercano; SWIR1: Infrarrojo de onda corta; SWIR2.: Infrarrojo de onda corta.

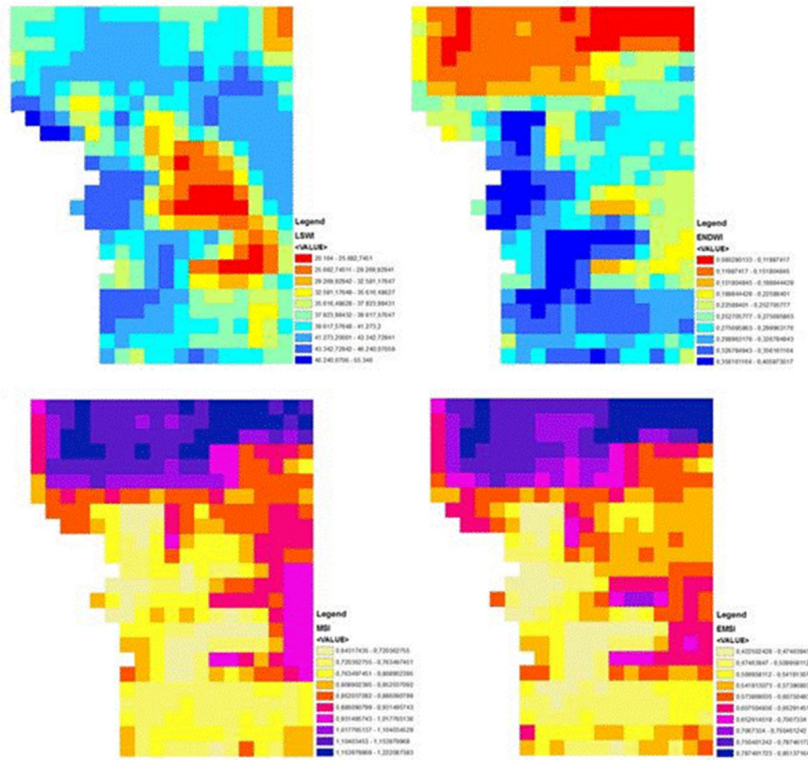


FIGURA 2. Mapas temáticos obtenidos de la estimación del contenido de humedad del suelo a partir de los índices espectrales en el área de estudio.

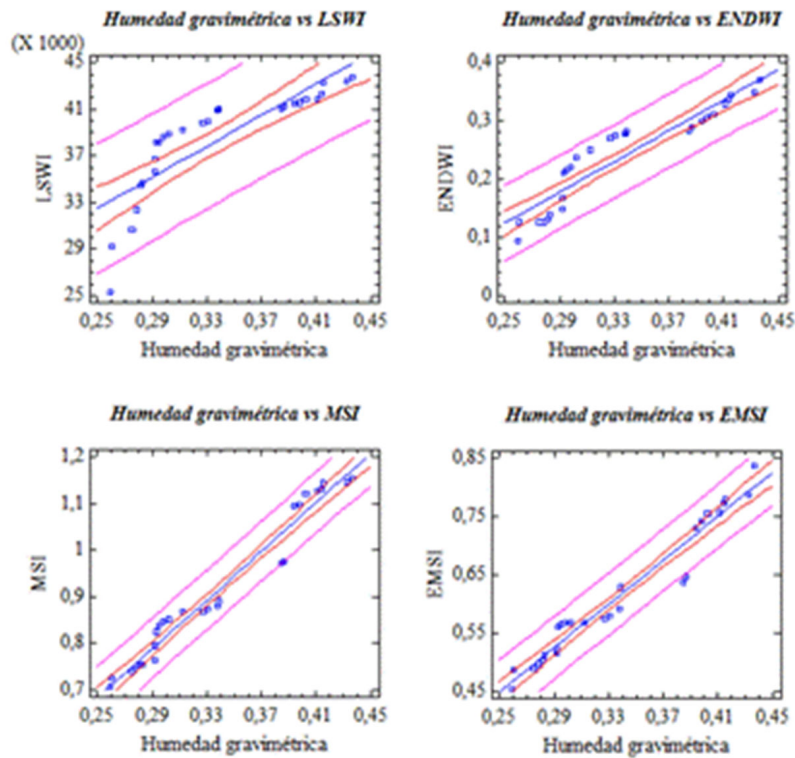


FIGURA 3. Análisis de regresión lineal entre la humedad gravimétrica y los índices espectrales de humedad.

TABLA 2. Estadígrafos del análisis de regresión lineal entre la humedad gravimétrica y los índices espectrales de humedad.

Estadígrafos	Índices espectrales de humedad			
	LSWI	ENDWI	MSI	EMSÍ
r ²	0,8402	0,9344	0,9814	0,9756
R ²	70,5933	87,318	96,3151	95,1765
EE	2569,6411	0,0299	0,0304	0,0253
EAM	1885,4722	0,0253	0,0250	0,0188
Durbin-Watson	0,2166 (P=0,0000)	0,3409 (P=0,0000)	0,8240 (P=0,0001)	1,2241 (P=0,0094)
RMSE	209,3115	1,6186	0,8476	0,6318
R-RMSE	0,9999	0,7794	0,6219	0,6910
%RMSE	48,3957	59,5995	78,8613	69,9638
NS	0,4312	0,6824	0,7185	0,8963
A.r	0,7031	0,7870	0,8816	0,8427
Ecuación del modelo	LSWI = 15788,6 + 66790,8* θ_g	ENDWI = -0,2046 + 1,3181* θ_g	MSI = 0,0340 + 2,6103* θ_g	EMSÍ = -0,0209 + 1,8818* θ_g

R²: Coeficiente de determinación.; r²: Coeficiente de correlación.; EE: Error estándar.; EAM: Error Absoluto Medio.; RMSE: Raíz del Error Cuadrático Medio.; R-RMSE: Raíz del Error Cuadrático Medio Relativo.; %RMSE: Raíz del Error Cuadrático Medio Porcentual.; NS: Eficiencia del modelo.

significación con estadígrafos de Durbin Watson menores que un 95 % de nivel de confianza en los modelos matemáticos obtenidos. También esta prueba estadística refleja que en el caso de los modelos de la humedad gravimétrica con los índices espectrales LSWI, MSI y ENDWI los residuos presentan una interrelación positiva con valores cercanos a cero; mientras que el EMSI un valor cercano a dos los residuos se encuentran incorrelacionados.

La autocorrelación de los residuales se encuentra representada con valores que varían desde -1 a 1 lo cual infiere que la estructura de los modelos se encuentra correctamente representada. El error absoluto medio de la predicción explica que las variables dependientes (índices espectrales de humedad) que se explica, fue correctamente elegida en cada caso, con valores superiores a cero lo cual indica que los valores fueron sobreestimados los cuales se ajustan a la magnitud de las variables dependientes.

Los índices MSI y EMSI mostraron mejor comportamiento en cuanto al índice de eficiencia con valores más cercanos a uno, mientras que el resto de los índices se encuentran con valores intermedios para su estimación lo cual concuerda con lo planteado por [Hwan et al. \(2012\)](#) para la validación de modelos hidrológicos mediante el uso de índices de eficiencia. [Qiu et al. \(2019\)](#) al evaluar con el satélite Landsat 8 OLI/TIRS la humedad de suelo bajo diferentes usos de la tierra encontró una correlación entre esta medida y la humedad presente en el suelo, validada a través de los estadígrafos RMSE y r². A partir del uso de la teledetección, [Jalilvand et al. \(2019\)](#) cuantificaron las zonas irrigadas en Urmia Lake, Irán, para lo cual validaron el uso de sensores remotos en este estudio a través del uso de algoritmos matemáticos con un coeficiente de determinación de 86 %.

CONCLUSIONES

El uso de la teledetección para la estimación de la humedad en un Vertisol mediante índices espectrales relacionados con esta propiedad física e imágenes del satélite Landsat 8 OLI/TIRS, mostró zonas homogéneas con valores altos, medios y bajos en el contenido de agua en el suelo y su variabilidad espacial en los mapas temáticos obtenidos. A partir de la metodología utilizada, los índices ENDWI, MSI y EMSI indicaron una mejor estimación en los estadígrafos utilizados para la validación de los valores obtenidos por teledetección y muestreos *in situ* de la humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXAKIS, D.D.; MEXIS, F.D.K.; VOZINAKI, A.E.K.; DALIAKOPOULOS, I.N.; TSANIS, I.K.: "Soil moisture content estimation based on Sentinel-1 and auxiliary earth observation products. A hydrological approach", *Sensors*, 17(6): 1-16, 2017, ISSN: 1424-8220, Publisher: MDPI, DOI: <https://doi.org/10.3390/s17061455>.
- AMANI, M.; PARSIAN, S.; MIRMAZLOUMI, S.M.; AIENEH, O.: "Two new soil moisture indices based on the NIR-red triangle space of Landsat-8 data", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50: 176-186, 2016, ISSN: 0303-2434, Publisher: Elsevier, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.03.018>.
- BAO, Y.; LIN, L.; WU, S.; DENG, K.A.K.; PETROPOULOS, G.P.: "Surface soil moisture retrievals over partially vegetated areas from the synergy of Sentinel-1 and Landsat 8 data using a modified water-cloud model", *International*

- journal of applied earth observation and geoinformation*, 72: 76-85, 2018, ISSN: 1569-8432, Publisher: Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.026>.
- CHAMPAGNE, C.; ROWLANDSON, T.; BERG, A.; BURNS, T.; L'HEUREUX, J.; TETLOCK, E.; ADAMS, J.R.; AHMADI, H.; TOTH, B.; ITENFISU, D.: "Satellite surface soil moisture from SMOS and Aquarius: Assessment for applications in agricultural landscapes", *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 45: 143-154, 2016, ISSN: 1569-8432, Publisher: Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.09.004>.
- CHEN, D.; HUANG, J.; JACKSON, T.J.: "Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near-and short-wave infrared bands", *Remote Sensing of Environment*, 98(2-3): 225-236, 2005, ISSN: 0034-4257, Publisher: Elsevier.
- CID, L.G.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, R.F.: "Resultados de algunas investigaciones en suelos Vérticos de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(2): 51-56, 2016, ISSN: 2227-8761.
- CUMBRERA-GONZÁLEZ, R.A.; ROMAGOSA, W.; MILLÁN, H.; SORIA, A.; GASKIN, B.: "Estimación de la dependencia espacial del contenido de humedad de un vertisol", *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2): 16-22, 2015, ISSN: 2227-8761.
- DOMÍNGUEZ, J.; KUMHÁLOVÁ, J.; NOVÁK, P.: "Assessment of the relationship between spectral indices from satellite remote sensing and winter oilseed rape yield", *Agron. Res*, 15(1): 55-68, 2017.
- HERNÁNDEZ, J.A.: "Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba", *Cultivos tropicales*, 42(3), 2021, ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.J.M.; MESA, N.A.; BOSCH, I.D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba.*, Ed. AGRINFOR, La Habana, Cuba, ISBN: 959-246-022-1, Barcaz L L ed., vol. I, 93 p., 2015.
- HERNÁNDEZ-PEREIRA, Y.; MEDINA-GONZÁLEZ, H.: "Estimación de la humedad del suelo mediante técnicas de asimilación de datos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4): 30-35, 2012, ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- HWAN, S.; HEON, D.; HOON, J.: "A new measure for assessing the efficiency of hydrological data-driven forecasting models", *Hydrological Sciences Journal*, 57(7): 1257-1274, 2012, DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.710335>.
- JALILVAND, E.; TAJRISHY, M.; HASHEMI, S.A.; BROCCA, L.: "Quantification of irrigation water using remote sensing of soil moisture in a semi-arid region", *Remote Sensing of Environment*, 231: 111226, 2019, ISSN: 0034-4257, Publisher: Elsevier.
- MOHAMMADI, A.; COSTELLOE, J.F.; RYU, D.: "Application of time series of remotely sensed normalized difference water, vegetation and moisture indices in characterizing flood dynamics of large-scale arid zone floodplains", *Remote sensing of environment*, 190: 70-82, 2017, ISSN: 0034-4257, Publisher: Elsevier, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.003>.
- QIU, J.; CROW, W.T.; WAGNER, W.; ZHAO, T.: "Effect of vegetation index choice on soil moisture retrievals via the synergistic use of synthetic aperture radar and optical remote sensing", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80: 47-57, 2019, ISSN: 1569-8432, Publisher: Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.015>.
- SILVA, R.F.; ALBUQUERQUE, J.A.; DA COSTA, A.; FONTOURA, S.M.; BAYER, C.; WARMLING, M.I.C.: "Physical properties of a Hapludox after three decades under different soil management systems", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40: 1-14, 2016, ISSN: 1806-9657, Publisher: SciELO Brasil, DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20140331>.
- SINGH, K.; KUMAR, S.; KUMAR, R.: "Synergetic methodology for estimation of soil moisture over agricultural area using Landsat-8 and Sentinel-1 satellite data", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15: 1-8, 2019, ISSN: 2352-9385, Publisher: Elsevier, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100250>.
- WILSON, M.; CERANA, J.: "Mediciones físicas en suelos con características vérticas", *Revista Científica Agropecuaria*, 8(1): 11-22, 2004, ISSN: 0329-3602.
- ZHAN, Z.; QIN, Q.; GHULAN, A.; WANG, D.: "NIR-red spectral space based new method for soil moisture monitoring", *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50(2): 283-289, 2007, ISSN: 1006-9313, Publisher: Springer, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11430-007-2004-6>.
- ZHANG, J.; ZHOU, Z.; YAO, F.; YANG, L.; HAO, C.: "Validating the modified perpendicular drought index in the North China region using in situ soil moisture measurement", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(3): 542-546, 2014, ISSN: 1545-598X, Publisher: IEEE, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LGRS.2014.2349957>.

Roberto Alejandro García-Reyes, Ing., Inv., Ministerio de la Agricultura, Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes, provincia Holguín, Cuba, e-mail: ralejandro9409@gmail.com.

Juan Alejandro Villazón-Gómez, MSc., Profesor, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR). Ave. de los Libertadores, km 3½, No. 287, Holguín, Cuba, e-mail: villazon1975@gmail.com.

María Elena Ruiz-Pérez, Dr.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 231/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: mrui@unah.edu.cu.

Mirna Cruz-Pérez, MSc., Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR). Ave. de los Libertadores, km 3½, No. 287, Holguín, Cuba, e-mail: mirtacp@gmail.com.

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

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** Roberto García. **Curación de datos:** Roberto García, María Elena Ruiz. **Análisis formal:** Roberto García, María Elena Ruiz. **Investigación:** Roberto García, María Elena Ruiz, Juan Alejandro Villazón, Mirna Cruz. **Metodología:** Roberto García. **Supervisión:** Roberto García, María Elena Ruiz, Mirna Cruz. **Validation:** Roberto García, María Elena Ruiz. **Visualization:** Roberto García, María Elena Ruiz, Juan Alejandro Villazón, Mirna Cruz. **Redacción-borrador original:** Roberto García, María Elena Ruiz. **Redacción, revisión y edición:** Roberto García, María Elena Ruiz.

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.