



<https://eqrcode.co/a/Ho2rZm>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Remote Sensing of Salinity in Agroecosystem of Mayarí, at Holguín Province, Cuba

Sensoramiento remoto de la salinidad en el agroecosistema Mayarí de la provincia Holguín, Cuba

MSc. Roberto Alejandro García-Reyes^I, Dr.C. Mario Damián González Posada-Dacosta^{II}, MSc. Kenier Torres-Calzado^I, MSc. Juan Alejandro Villazón-Gómez^{III}, MSc. Miguel Ignacio Abellón-Molina^I, MSc. Elianne Caridad Velázquez-Sánchez

^IUniversidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Holguín, Cuba.

^{II}Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba.

^{III} Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos, Holguín, Holguín, Cuba.

ABSTRACT. The research presented was aimed at determining spectral indices related to soil salinity by remote sensing in two seasons of the year contrasting by their rainfall regimes, in Mayarí Agroecosystem, at Holguin Province, Cuba. The images used were of May 2016 and December 2018, obtained from the USGS by the Landsat 8 OLI / TIRS satellite in the 011/046 grid. The QGis 3.10 software was used to determine the spectral indices, as well as the radiometric correction, statistical report of the digital values of the images and the preparation of thematic maps. The results obtained show the variation of digital values of the spectral indices in both seasons of the year studied, where the IS presented higher content of salts and less areas with vegetation in May 2016, which could be given by the end of the drought season and the beginning of the rainy season. The same behavior was illustrated by the ENDWI, NDDI and VSSI indices, which influenced the behavior of the IS and NDVI.

Keywords: Spectral Index, Drought.

RESUMEN. La investigación que se presenta tuvo como objetivo la determinación de índices espectrales relacionados con la salinidad del suelo mediante sensor remoto en dos épocas del año contrastantes por el régimen de precipitaciones, en el agroecosistema de Mayarí de la provincia Holguín, Cuba. Las imágenes utilizadas fueron del mes de mayo de 2016 y diciembre de 2018, obtenidas del USGS por el satélite Landsat 8 OLI/TIRS en la cuadrícula 011/046. Se utilizó el software QGis 3.10 para la determinación de los índices espectrales; así como la corrección radiométrica, informe estadístico de los valores digitales de las imágenes y la confección de los mapas temáticos. Los resultados obtenidos muestran la variación de los valores digitales de los índices espectrales en ambas épocas del año estudiada, donde el IS presentó mayor contenido de sales y menor zonas con vegetación en mayo de 2016 lo que pudo estar dado por la finalización de la época de sequía y comienzo de la temporada de lluvia. Igual comportamiento fue ilustrado por los índices ENDWI, NDDI y VSSI los cuales influyeron en el comportamiento del IS y el NDVI.

Palabras clave: índices espectrales, sequía.

INTRODUCTION

Between 20 and 30 % of world lands are degraded by salinity (Asfaw *et al.*, 2016), which causes environmental problems,

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se estima que existan entre un 20 y un 30 % de suelos degradados por salinidad según Asfaw *et al.* (2018),

¹ Author for correspondence: Roberto Alejandro García-Reyes, e-mail: ralejandro9409@gmail.com.

Received: 20/06/2020.

Approved: 04/12/2020.

principally in agriculture (Gorji *et al.*, 2017). Many are the factors that cause salinity in soils, among them, the excessive activity of irrigation with extraction of high concentrations of mineral salts in water from the phreatic zone (Ávila *et al.*, 2019). The information of studies accomplished to determine the status of salinity in soils, offers a great amount of information required to plan and implement effective programs for their management (Aldabaa *et al.*, 2015).

Salinity of intervening ground has been detected by using remote sensing (Wang *et al.*, 2020). Salinity is not a process that becomes manifest only upon the ground surface, but in all the profile can cause a limitation in the utilization of optic sensors.

Under those circumstances, it is difficult to monitor the chemical composition of the soil with acceptable precision as well as compiling the information to different spatial scales. A multi-temporary study of salinity requires analyzing a long-time period to be representative of the tendencies and magnitudes of the processes of degradation, as well as for defining basic dynamic features, extension and grade of salinization of soils.

Researches accomplished under different edaphological conditions of use and management of soils have been supported in the use of remote sensing in studies of salinity and its relation with the values obtained in farm and laboratory measurements; in the elaboration of thematic maps for the comparison of periods of time, seasons of the year and in different stages of growth and development of cultivations (Al-Khaier, 2003; Heidinger, 2008; Polishing *et al.*, 2010; Tighen *et al.*, 2016; Hao *et al.*, 2018).

The objective of this investigation was to determine the spectral index related with the salinity of the soil with the remote sensing in two epochs of the year contrasting due to their regimens of precipitations, in Mayarí Agroecosystem, at Holguín Province, Cuba.

METHOD

Mayarí Agroecosystem is located at Holguín Province and comprises a surface of 1304,2 km² (Figure 1) with the biggest agricultural pole of the province and a great part of low irrigation, supplied by Mayarí Dam and the works at the East - West Water Transfer Chanel.

The origin of spectral index utilized for the determination of salinity are images of satellite Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) collection 1, both downloaded from the Geological Service of the United States (USGS) in the grid 011/046. The Survey of Oran topographical sheet was geographic referenced using the Geographic Universal Transverse Mercator (UTM) 18N coordinate system and the WGS84. For its accumulation and the time, Landsat imagery have a space resolution of 30 m, temporary resolution of 16 days and coverage of 185 km of land.

In Table 1, the characteristics of Landsat imagery utilized for the determination by sensor remote of spectral index related with soil salinity in different epochs of the year (May and December) are illustrated. Each image represents a data set grouped in pixels.

lo cual causa problemas medioambientales, principalmente en la agricultura (Gorji *et al.*, 2017). Muchos son los factores que causan la salinidad del suelo, entre ellos se encuentra la excesiva actividad del riego, con extracción del manto freático de altas concentraciones de sales minerales en el agua (Ávila *et al.*, 2018). La información de los estudios realizados para la determinación del estado de la salinidad del suelo, brindan una gran magnitud de información requerida para la toma de decisiones y la implementación de programas efectivos para su manejo (Aldabaa *et al.*, 2015).

Poder detectar la salinidad del suelo mediante la implementación de sensores remotos es una de las técnicas actualmente más utilizadas (Wang *et al.*, 2020)). La salinidad no es un proceso que se manifiesta solo en la superficie del suelo, sino que, en todo el perfil, lo que puede causar una limitación en la utilización de los sensores ópticos.

En estas circunstancias, resulta difícil monitorear la composición química del suelo con la precisión aceptable, así como recopilar la información a diferentes escalas espaciales. Un estudio multitemporal de la salinidad requiere abordar un gran lapso de tiempo para ser representativo de las tendencias y magnitudes de los procesos de degradación, así como para definir los rasgos básicos de la dinámica, extensión y grado de salinización de los suelos.

Estudios realizados bajo diferentes condiciones edafoclimáticas, de uso y manejo de los suelos, han corroborado el empleo de sensores remotos en estudios de la salinidad y su relación con los valores obtenidos en mediciones de campo y de laboratorio; en la elaboración de mapas temáticos para la comparación de períodos de tiempo, épocas del año y en distintas etapas del crecimiento y desarrollo de cultivos (Al-Khaier, 2003; Heidinger, 2008; Soca, 2015).

Por lo antes expuesto se propone como objetivo de la investigación, la determinación de índices espectrales relacionados con la salinidad del suelo mediante sensoramiento remoto en dos épocas del año contrastantes por el régimen de precipitaciones, en el agroecosistema de Mayarí de la provincia Holguín, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El agroecosistema Mayarí ubicado en la provincia de Holguín abarca una superficie de 1304,2 km² (Figura 1) el cual se destaca por contar con el mayor polo agropecuario de la provincia y gran parte de los cultivos bajo riego, abastecidos por el agua de la presa Mayarí y las obras del trasvase Este-Oeste.

El origen de los índices espectrales utilizados para la determinación de la salinidad son imágenes de satélite Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) TIRS (Thermal Infrared Sensor) colección 1; ambas descargadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en la cuadrícula 011/046 y el sistema de coordenadas WGS 84 UTM Zona 18 Norte. 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.

En la Tabla 1 se ilustra las características de las imágenes Landsat utilizadas para la determinación por sensoramiento remoto de los índices espectrales relacionados con la salinidad del suelo en diferentes épocas del año (mayo y diciembre). Cada imagen representa un conjunto de datos agrupados en píxeles.

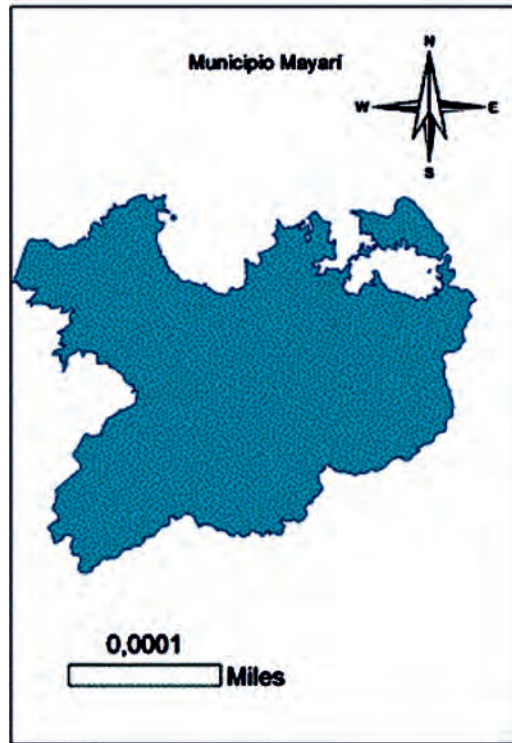


FIGURE 1. Map of Mayarí Agroecosystem located in Mayarí Municipality, Holguín Province, Cuba.
 FIGURA 1. Mapa del agroecosistema Mayarí ubicado en el municipio de Mayarí, provincia Holguín, Cuba.

TABLE 1. Satellite imagery utilized for the remote sensing of salinity in different epochs of the year
TABLA 1. Imágenes satelitales utilizadas para la teledetección de la salinidad en diferentes épocas del año

Image	Acquisition date
LC08_L1TP_011046_20160519_20170324_01_T1	May 19, 2016
LC08_L1TP_011046_20181219_20181227_01_T1	December 19, 2018

The Software QGis 3.10 was utilized for the determination of spectral index, the realization of thematic maps and radiometric correction, in order to decrease the atmospheric, radiometric and topographic effects in both imagery utilized.

Spectral indices related with the salinity of the soil that were determined are referred in Table 2:

El software QGis 3.10 fue el utilizado para la determinación de los índices espectrales y la realización de los mapas temáticos, y en ambas imágenes utilizadas se realizó la corrección radiométrica, para disminuir los efectos atmosférico, radiométrico y topográfico.

Los índices espectrales relacionados con la salinidad del suelo (Tabla 2) determinados fueron los siguientes:

TABLE 2. Spectral indices determined from satellite imagery Landsat 8 OLI/TIRS
TABLA 2. Índices espectrales determinados a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 OLI/TIRS

Espectral index	Expression	Reference
Salinity Index (SI)	$SI = \frac{(B2 - B4)}{(B2 + B4)}$	Khan <i>et al.</i> (2005)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - B4}{NIR + B4}$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
Enhanced Normalized Difference Water Index (ENDWI)	$ENDVI = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	Chen <i>et al.</i> (2005)
Normalized Difference. Drought Index (NDDI)	$NDDI = \frac{NDVI - ENDWI}{NDVI + ENDWI}$	Gu <i>et al.</i> (2007)
Vegetation Soil Salinity Index (VSSI)	$VSSI = 2 * B2 - 5(B3 + B4)$	Dehni y Lounis (2012)

B2: Blue band; B3: Green band; B4: Red band; NIR: Near Infrared spectral band; SWIR2: Shortwave Infrared.

Data of Guaro Weather Station of Mayarí Municipality for the years 2016 and 2018 were taken like reference for the study of the epochs with bigger affectation of the contents of salts in the ground and the stress induced by the intense drought. There were 70,6 mm accumulate of average rain in May 2016 and 79,0 for December 2018, which shows a minimum difference between both contrasting epochs.

RESULTS AND DISCUSSION

The descriptive statistics of the spectral values that the pixels take in both epochs of the years examined are shown in the Table 3. The deficit of water shown in the spectral information of December 2018, expressed by the index NDDI with mean values of -0,821, did not have negative incidence in the indices IS, NDVI, ENDWI and VSSI provided that they yielded minor presence of salts in the soil than the spectral information of May 2016 which shows a higher SI (-0,409) with values closer to -1. According to Elhag (2016), the values of the spectral index that indicates the state of salinity of the soil, oscillate from -1 (high presence of salts in the soil) to 1 (reduced presence of salts in the soil).

Según datos de la estación meteorológica de Guaro del municipio de Mayarí para los años 2016 y 2018 fueron tomados como referencia para el estudio de las épocas con mayor afectación del contenido de sales en el suelo y el estrés inducido por la intensa sequía. Para mayo de 2016 hubo un acumulado de lluvia promedio de 70,6 mm y diciembre de 2018 de 79,0; lo cual infiere una mínima diferencia entre ambas épocas contrastantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estadística descriptiva de los valores espectrales que toman los píxeles en ambas épocas de los años analizados se muestra en la Tabla 3. El déficit de agua que se presentó en la información espectral de diciembre de 2018 expresado por el índice NDDI con valores medios de -0,821 no tuvo incidencia negativa en los índices IS, NDVI, ENDWI y VSSI dado que arrojaron menor presencia de sales en el suelo que la información espectral del mes de mayo de 2016 la cual presenta un mayor IS (-0,409) con valores más cercanos a -1. Según Elhag (2016), los valores del índice espectral que indica el estado de la salinidad del suelo oscila desde -1 (presencia alta de sales en el suelo) a 1 (baja presencia de sales en el suelo).

TABLE 3. Statistical descriptive reports of the spectral values that the pixels take in both epochs of the year from an extract of a raster in Mayarí Agroecosystem

TABLA 3. Informe estadístico descriptivo de los valores espectrales que toman los píxeles en ambas épocas del año a partir del recorte de un raster del agroecosistema Mayarí

Epoch of the year	Spectral Index	Minimum Value	Maximum Value	Mean Value	Standard deviation
May/2016	IS	-0.2409	0.2187	0.0786	0.0517
	ENDWI	-0.1753	0.5994	0.2858	0.1360
	NDDI	-269764.2812	220090.8281	0.1345	297.6306
	NDVI	-0.3532	0.6433	0.2661	0.1771
	VSSI	-418727.0	-48510.0	-74437.2212	27351.1005
December/2018	IS	-0.2893	0.5828	0.2661	0.1493
	ENDWI	-0.1255	0.5555	0.2596	0.1222
	NDDI	-1141697.5	163069.7343	-0.0821	1031.6220
	NDVI	-0.2893	0.5828	0.2936	0.1493
	VSSI	-197326.0	-44772.0	-54747.2184	5630.8296

In December 2018, there were NDVI for zones with vegetation mean values of 0,293 bigger than in May 2016 with 0,2661. The interval of values once the NDVI was gotten, varied from (- 1) to (1) and only the positive values corresponded to zones of vegetation. The negative values generated for a bigger reflectance in visible than in infrared corresponded to clouds, snow, water, zones of naked ground and rocks. The NDVI values can vary in terms of the use of the soil, phenological station, hydric situation of the territory and typical weather of the zone. These properties make that the NDVI had constituted a valuable tool for the evaluation of vegetable covers, as well as for going into the classification and vegetable dynamics and its phenological aspects (Chen *et al.*, 2005).

Martínez *et al.* (2011) refer that drought, salinity and extreme temperatures are the principal types of stress that cause adverse effects in the growth and productivity of cultivations. The NDDI and the ENDWI, both indices related with the presence and quantity of water in the soil determined from

Para diciembre de 2018 existieron mayores zonas con vegetación con valores medios de 0,293 del NDVI que el mes de mayo de 2016 con 0,2661. El intervalo de valores obtenido del NDVI, varía entre (-1) y el (1); y sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona. Estas propiedades hacen que el NDVI se haya constituido en una valiosísima herramienta para la evaluación de cubiertas vegetales, así como para estudiar la clasificación y dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos (Chen *et al.*, 2005).

Martínez *et al.* (2011), plantea que la sequía, salinidad y temperaturas extremas son los principales tipos de estrés que causan efectos adversos en el crecimiento y productividad de los cultivos. El NDII y el ENDWI ambos índices relacionados con la presencia y cantidad de agua en el suelo determinados

Landsat imagery, allow establishing relations with the presence of salts in the soil according to the study performed by Khan *et al.* (2005).

a partir de imágenes Landsat permiten establecer relaciones con la presencia de sales en el suelo según el estudio realizado por Khan *et al.* (2005).

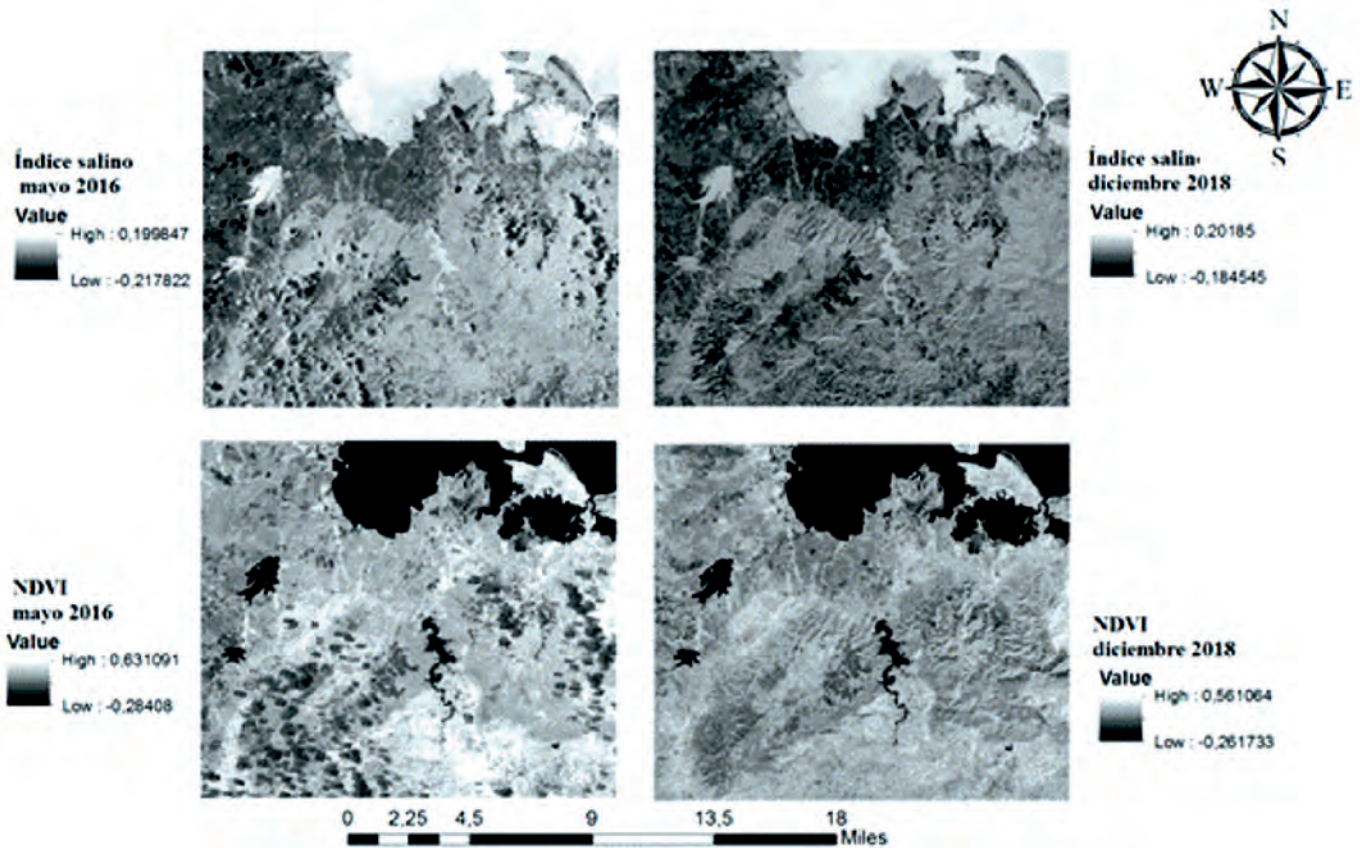


FIGURE 2. Maps of SI and NDVI indices in May 2016 and December 2018 in the agroecosystem of Mayarí.
 FIGURA 2. Mapas de los índices espectrales IS y NDVI de mayo de 2016 y diciembre de 2018 del agroecosistema Mayarí.

The cartography use, before the consideration of the map like a system of information, offers the possibility to have a theoretical-methodological base that is presented in different instances during the entirety of the investigation process that begins with the necessity of defining the study area and it culminates with a synthesis of the space distributions of the obtained results (Baquero *et al.*, 2010).

The remote sensing of the salinity as NDVI has been largely utilized, granted that it indicates the status of the vegetation according to the stress for salinity (Kumar and Aldakheel, 2014). Figure 2 specifies the maps of SI and NDVI in May 2016 and December of 2018 in the agroecosystem of Mayarí.

The visualization of contrasts in the tonalities that take the salinity and the vegetation in this area gives the appearance of the variation of these measures in both epochs.

Platonov *et al.* (2013) refer that for identifying the status of the vegetation in front of the saline stress it becomes necessary the analysis of large extensions due to the variation of land use and management by the producers (Jacobus, 2017).

The presence of water in the soil has a great influence on the state of salinity, therefore, the determination of the indices related to the stress caused by drought in the plants suggest that there was variation in the months of May 2016 and December 2018 in Mayarí agroecosystem (Figure 3).

El uso de cartografía, ante la consideración del mapa como un sistema de información, brinda la posibilidad de contar con una base teórico-metodológica que se presenta en diferentes instancias durante la totalidad del proceso de investigación que inicia con la necesidad de definir el área de estudio y culmina con una síntesis de las distribuciones espaciales de los resultados obtenidos (Baquero *et al.*, 2010).

La teledetección de la salinidad a partir del NDVI ha sido ampliamente utilizada, dado que se presenta el estado de la vegetación ante el estrés por salinidad (Allbed *et al.*, 2014). La Figura 2 muestra los mapas de SI y NDVI en mayo de 2016 y diciembre de 2018 del agroecosistema Mayarí. A partir de la visualización por el contraste en las tonalidades que toma la salinidad y la vegetación en esta área se muestra la variación de estas medidas en ambas épocas.

Platonov *et al.* (2013), refiere que para identificar el estado de la vegetación ante el estrés salino se hace necesario el análisis de grandes extensiones debido a la variación del uso y manejo del suelo por los productores (Muller, 2017).

La presencia de agua en el suelo tiene gran influencia en el estado de la salinidad, por lo tanto, la determinación de los índices relacionados con el estrés causado por la sequía en las plantas, sugieren que hubo variación en los meses de mayo del 2016 y diciembre del 2018 en el agroecosistema de Mayarí (Figura 3).

The obtained results agree with that presented by Oliva *et al.* (2008), who refer that drought is major at the dry and hot regions, and existing a bigger concentration of salts in the upper layer of the ground due to the evapotranspiration, that exceeds precipitation.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo planteado por Oliva *et al.* (2011), donde refiere que la sequía es mayor en las regiones secas y calientes, y que existe una mayor concentración de sales en la capa superior del suelo debido a la evapotranspiración, que excede a la precipitación.

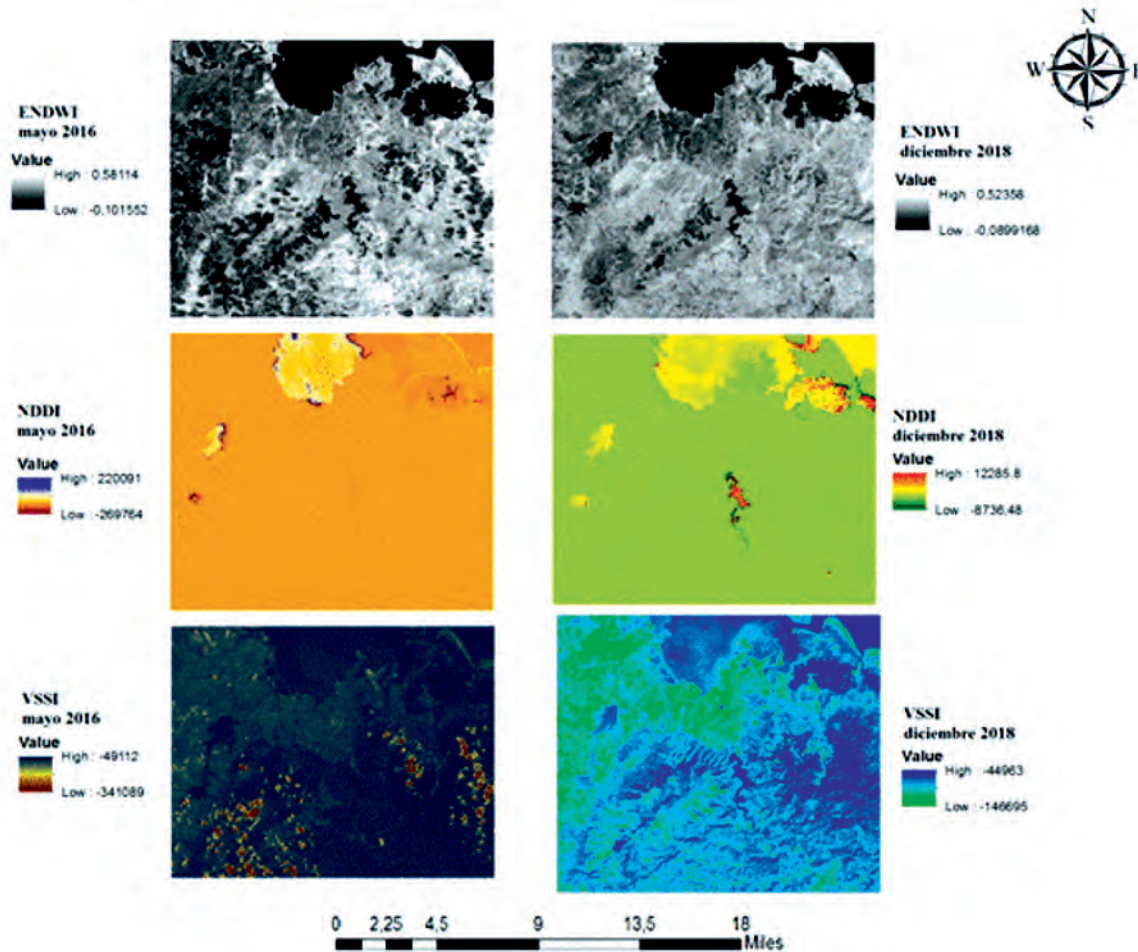


FIGURE 3. Maps of spectral indices ENDWI, NDDI and VSSI correspondent to the agro ecosystem of Mayarí in May 2016 and December 2018.
 FIGURA 3. Mapas de los índices espectrales ENDWI, NDDI y VSSI correspondientes al mes de mayo de 2016 y diciembre de 2018 del agroecosistema Mayarí.

CONCLUSIONS

- The results obtained in the investigation highlight the precision of the remote sensing in the determination of soil salinity and of index spectral related with the stress in the plants caused by this process of degradation. The imagery utilized for the analysis of spectral index showed a bigger salinity index in the month of May 2016, what could be given by the starting of the rainy season and the month of December 2018, the ending of the rainy season at the country. The maps manufactured from the spectral information show the contrast in both years examined from their index of salinity, of vegetation and their relation with the stress for intense drought.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en la investigación resaltan la precisión de la teledetección en la determinación de la salinidad del suelo y de índices espectrales relacionados con el estrés en las plantas ocasionado por este proceso de degradación. Las imágenes utilizadas para el análisis de los índices espectrales arrojaron un mayor índice salino en el mes de mayo de 2016 lo que pudo estar dado por el inicio de la época lluviosa y el mes de diciembre de 2018 marca el fin de la temporada lluviosa en el país. Los mapas confeccionados a partir de la información espectral muestran el contraste en ambos años analizados de los índices de salinidad, de vegetación y los relacionados con el estrés por intensa sequía.

REFERENCES

ALDABAA, A.A.; WEINDORF, D.C.; CHAKRABORTY, S.; SHARMA, A.B.; LI, B.: "Combination of proximal and remote sensing methods for rapid soil salinity quantification", *Geoderma*, 239: 34-46, 2015, ISSN: 0016-7061, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.011>.

- AL-KHAIER, F.: *Soil salinity detection using satellite remote sensing*, International Institute for Geo-Information Science and Earth observation ITC, MSc. Thesis in Geo-Information Science and Earth Observation, Enscheda, the Netherlands, 2003.
- ALLBED, A.; KUMAR, L.; ALDAKHEEL, Y.Y.: "Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region", *Geoderma*, 230: 1-8, 2014, ISSN: 0016-7061, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025>.
- ASFAW, E.; SURYABHAGAVAN, K.V.; ARGAW, M.: "Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia", *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3): 250-258, 2018, ISSN: 1658-077X, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.003>.
- ÁVILA, S.E.; GARCÍA, S.J.A.; VALTIERRA, P.E.; GARCÍA, M.R.; HOYOS, F.G.: "Producción de biodiesel derivado de la Jatropha: un estudio de competitividad en el estado de Chiapas, México", *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41(4): 461-468, 2018, ISSN: 0187-7380.
- BAQUERO, G.; ESTEBAN, B.; PUIG, R.; RIBA, J.; RIUS, A.: "Characterization of physical properties of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines", 2010.
- 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, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.008>.
- DEHNI, A.; LOUNIS, M.: "Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria", *Procedia Engineering*, 33: 188-198, 2012, ISSN: 1877-7058, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1193>.
- ELHAG, M.: "Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems, Saudi Arabia", *Journal of Sensors*, 1-8, 2016, ISSN: 1687-725X, DOI: <https://dx.doi.org/10.1155/2016/7596175>.
- GORJI, T.; SERTEL, E.; TANIK, A.: "Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey", *Ecological Indicators*, 74: 384-391, 2017, ISSN: 1470-160X, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.043>.
- GU, Y.; BROWN, F.J.; VERDIN, P.J.; WARDLOW, B.: "A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States", *Geophysical research letters*, 34(6): 1-6, 2007, ISSN: 0094-8276, DOI: <https://dx.doi.org/10.1029/2006GL029127>.
- HEIDINGER, A.H.: *Detección de salinidad de los suelos en el Antiplano Peruano-Boliviano mediante percepción remota, inducción electromagnética y sistemas de información geográfica*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias ..., Tesis de Licenciatura, Lima, Perú, 2008.
- KHAN, N.M.; GUEVARA, V.V.; SATO, Y.; SHIOZAWA, S.: "Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators", *Agricultural Water Management*, 77(1-3): 96-109, 2005, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.038>.
- MARTÍNEZ, N.; LÓPEZ, C.; BASURTO, M.; PÉREZ, R.: "Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. Tecnociencia. 5, 156-161", 2011.
- MULLER, S.J.: *Indirect soil salinity detection in irrigated areas using earth observation methods*, Stellenbosch University, Faculty of Science, Master of Science Thesis, Stellenbosch, Sud Africa, 2017.
- OLIVA, M.A.; RINCÓN, R.; ZENTENO, E.; PINTO, A.; DENDOOVEN, L.; GUTIÉRREZ, F.: "Rol del vermicompost frente al estrés por cloruro de sodio en el crecimiento y fotosíntesis en plántulas de tamarindo (Tamarindus indica L.)", *Revista Gayana. Botánica*, 65(1): 10-17, 2011, ISSN: 0717-6643, e-ISSN: 0016-5301.
- PLATONOV, A.; NOBLE, A.; KUZIEV, R.: "Soil salinity mapping using multi-temporal satellite images in agricultural fields of Syrdarya province of Uzbekistan", En: *Developments in soil salinity assessment and reclamation: Innovative thinking and use of marginal soil and water resources in irrigated agriculture*, Ed. Springer, Shahid SA, Abdelfattah MA, and Taha FK ed., Dordrecht, Netherlands, pp. 87-98, 2013.
- ROUSE, J.; HAAS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D.: "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS Proceeding", En: *Third Earth Reserves Technology Satellite Symposium, Greenbelt: NASA SP-351*, USA, 1974, ISBN: 30103017.
- SOCA, R.: *Identificación de las tierras degradadas por la salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar mediante imágenes de satélite*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Física con mención en Geofísica, Lima, Perú, 2015.
- WANG, J.; DING, J.; YU, D.; AKIYAMA, D.M.; HE, B.; CHEN, X.; GE, X.; ZHANG, Z.; WANG, Y.; YANG, X.: "Machine learning-based detection of soil salinity in an arid desert region, Northwest China: A comparison between Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI", *Journal Science of The Total Environment*, 707: 1-11, 2020, ISSN: 0048-9697, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136092>.

Roberto Alejandro García-Reyes, Profesor, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Holguín, Cuba. Código Postal: 80100. e-mail: ralejandro9409@gmail.com.

Mario Damián González Posada-Dacosta, Profesor, Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba, e-mail: ralejandro9409@gmail.com

Kenier Torres-Calzado, Profesor, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Holguín, Cuba. Código Postal: 80100. e-mail: ralejandro9409@gmail.com

Juan Alejandro Villazón-Gómez, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos, Holguín, Holguín, Cuba, e-mail: ralejandro9409@gmail.com

Miguel Ignacio Abellón-Molina, Profesor, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Holguín, Cuba. Código Postal: 80100. e-mail: ralejandro9409@gmail.com

Elianne Caridad Velázquez-Sánchez, Profesora, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Holguín, Cuba. Código Postal: 80100. e-mail: ralejandro9409@gmail.com

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.