



Estimation of the electrical conductivity of the soil from spectral information in the cultivation of rice (*Oryza sativa* L.)

Estimación de la conductividad eléctrica del suelo a partir de información espectral en el cultivo del arroz (Oryza sativa L.)

Ing. Roberto Alejandro García-Reyes^I, Dr.C. Mario Damian González Posada-Dacosta^{II},
MSc. Juan Alejandro Villazón-Gómez^{III}, Dr.C. Sergio Rodríguez-Rodríguez^{IV}

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

^{IV} Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal, Bayamo, Granma, Cuba.

ABSTRACT. The salinity of the soil constitutes today one of the main degradation processes that affects the lands under irrigation; and especially the production of rice. The objective of the research was to estimate the electrical conductivity of the soil by means of spectral information in the cultivation of rice in the Mayarí municipality, Holguín. The research was developed on a Chromic Vertisol, which are the most prone in the territory to trigger degradation processes such as salinity, given by management practices in rice cultivation. Two semi-empirical models proposed from different spectral indices were used, the NDSI and the IS, which were calculated in the QGIS 3.10 software with multispectral images from the Landsat 8 OLI / TIRS sensor. The NDSI and the SI-ASTER showed the lowest determination and negative correlation in both models. The SI and the SI-ASTER produce an overestimation of the electrical conductivity values of the soil ($EC \geq 100\%$), the NDSI, SSSI.1 and SSSI.2 indicate a moderate content of salts in the soil ($EC 20\% < EC \leq 40\%$). Although the use of spectral salinity indices yielded a high determination, the SI and the SI-ASTER indicated an overestimation of the electrical conductivity existing in the soil, which could be due to the presence of a saturation of the signal captured by the sensor and reflected in the indices obtained, which exceeded the values in which the saline index oscillates.

Keywords: Saline Index, Salinity, Remote Sensing.

RESUMEN. La salinidad del suelo constituye hoy en día uno de los principales procesos de degradación que afecta las tierras bajo riego; y en especial la producción de arroz. La investigación tuvo como objetivo estimar la conductividad eléctrica del suelo mediante información espectral en el cultivo del arroz en el municipio Mayarí, Holguín. La investigación se desarrolló sobre un Vertisol Crómico, los cuales son los más proclives en el territorio a desencadenar procesos de degradación como la salinidad, dado por las prácticas de manejo en el cultivo del arroz. Se utilizaron dos modelos semiempíricos propuestos a partir de índices espectrales diferentes, el NDSI y el IS los cuales se calcularon en el software QGIS 3.10 con imágenes multiespectrales del sensor Landsat 8 OLI/TIRS. El NDSI y el SI-ASTER arrojaron la menor determinación y correlación negativa en ambos modelos. El SI y el SI-ASTER producen una sobreestimación de los valores de conductividad eléctrica del suelo ($EC \geq 100\%$), el NDSI, SSSI.1 y el SSSI.2 indican un contenido moderado de sales en el suelo ($EC 20\% < EC \leq 40\%$). Aunque la utilización de los índices espectrales de salinidad arrojó una alta determinación, el SI y el SI-ASTER indicaron una sobreestimación de la conductividad eléctrica existente en el suelo lo cual podría deberse a la presencia de una saturación de la señal captada por el sensor y reflejada en los índices obtenidos, la cual sobrepasó los valores en los cuales oscila el índice salino.

Palabras clave: índice salino, salinidad, teledetección.

Author for correspondence: Roberto Alejandro García-Reyes, e-mail: ralejandro9409@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8950-0268>

Received: 01/02/2021.

Approved: 20/09/2021.

INTRODUCTION

Soil salinity is considered an environmental problem in the world, especially in arid and semi-arid areas (Kumar *et al.*, 2018). Has been reported in irrigated agricultural lands in China, India, the United States and America Zaman *et al.* (2018), and around 20% of the lands under irrigation in the world express severe damage by salinity, low yields, causing soil degradation and also loss of fertility (Ali *et al.*, 2019).

Rice is considered one of the crops sensitive to salinity, and it has been pointed out that from an electrical conductivity of the saturated soil paste extract (Cep) of 3 dS.m⁻¹, the potential yield declines rapidly in an environment of a 12% for each unit increase in soil Cep Ayers & Westcot, (1985) cited by Pujol *et al.* (2009). In a traditional way, laboratory analysis is the analysis technique used to characterize soil salinity, which consumes a large amount of time and resources (Harti *et al.*, 2016). Geostatistical interpolation tools are also used Balakrishnan *et al.* (2011) for the analysis of the spatial and temporal variability of the information obtained.

Given this situation, the use of remote sensing or remote sensing becomes more feasible. This novel technique with great potential for collecting soil data, and has been used for the detection of salinity both spatially and temporally (Allbed *et al.*, 2014). Their study is based on the spectral characteristics of the soil. Sidike *et al.* (2014), refer that soil reflectance increases when salinity increases in the visible spectrum of the red and infrared bands.

Among the main difficulties in obtaining spectral information on salinity is due to the presence of factors such as soil cover, organic matter content, and texture affect the acquisition of information in time and space (Ding y Yu, 2014). Due to the aforementioned, the objective of the research was based on the estimation of the electrical conductivity of the soil from semiempirical models of spectral information in rice cultivation in the Mayarí municipality of, Holguín.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in the rice production area known as Guaro, located in the Mayarí agroecosystem in the province of Holguín. A completely randomized sampling design was used with the elaboration of a grid of 50 meters spacing between projected points in the WGS84 / UTM zone 18 N system (Figure 1).

The image used (LC08_L1TP_011046_20181219_20181227_01_T1) for the extraction of spectral information comes from the commercial Landsat 8 OLI / TIRS satellite, downloaded from the site www.usgs.com of the United States Geological Survey. The satellite used has the following characteristics (Table 1). For the acquisition date of the multispectral images, the study area was planted with rice and the average rainfall up to that month was 79.0 mm and 26.6 ° C in temperature.

INTRODUCCIÓN

La salinidad del suelo es considerado un problema a nivel medioambiental en el mundo, en especial en áreas de zonas áridas y semiáridas (Kumar *et al.*, 2018). Ha sido reportado en tierras agrícolas irrigadas de China, India, Estados Unidos y América Zaman *et al.* (2018), y alrededor de un 20 % de las tierras bajo riego en el mundo expresan severos daños por la salinidad, bajos rendimientos, causando la degradación del suelo y también la pérdida de la fertilidad (Ali *et al.*, 2019).

El arroz está considerado entre los cultivos sensibles a la salinidad, y se ha señalado que a partir de una conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada del suelo (Cep) de 3 dS.m⁻¹ el rendimiento potencial declina rápidamente en un entorno de un 12% por cada incremento de unidad de la Cep del suelo Ayers & Westcot, (1985) citado por Pujol *et al.* (2009).

De manera tradicional el análisis de laboratorio es la técnica de análisis utilizada para la caracterización de la salinidad del suelo, lo cual consume una gran cantidad de tiempo y recursos (Harti *et al.*, 2016). También se utilizan herramientas geoestadísticas de interpolación Balakrishnan *et al.* (2011), para el análisis de la variabilidad espacial y temporal de la información obtenida.

Ante esta situación se hace más factible la utilización del sensoramiento remoto o teledetección. Esta novedosa técnica de gran potencial para la toma de datos del suelo, y ha sido utilizada para la detección de la salinidad tanto en forma espacial como temporal (Allbed *et al.*, 2014). Su estudio se basa en las características espectrales del suelo.

Sidike *et al.* (2014), refiere que la reflectancia del suelo incrementa cuando incrementa la salinidad en el espectro visible de las bandas roja e infrarrojas. Dentro de las principales dificultades en la obtención de la información espectral de la salinidad es por la presencia de factores como la cobertura del suelo, el contenido de materia orgánica, la textura afecta la adquisición de la información en el tiempo y el espacio (Ding y Yu, 2014).

Por lo antes expuesto el objetivo de la investigación se basó en la estimación de la conductividad eléctrica del suelo a partir de modelos semiempíricos de información espectral en el cultivo del arroz en el municipio de Mayarí, Holguín.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el área de producción arrocera conocida como Guaro, ubicado en el agroecosistema Mayarí en la provincia de Holguín. Se utilizó un diseño de muestreo completamente aleatorizado con la elaboración de una grilla de 50 metros de espaciado entre puntos proyectados en el sistema WGS84 /UTM zona 18 N (Figura 1).

La imagen utilizada (LC08_L1TP_011046_20181219_20181227_01_T1) para la extracción de la información espectral proviene del satélite comercial Landsat 8 OLI/TIRS, descargada del sitio www.usgs.com del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

El satélite utilizado tiene las siguientes características (Tabla 1). Para la fecha de adquisición de las imágenes multiespectral se encontraba sembrada de arroz el área de estudio y el promedio de lluvias precipitadas hasta ese mes fue 79.0 mm y 26.6 °C de temperatura.

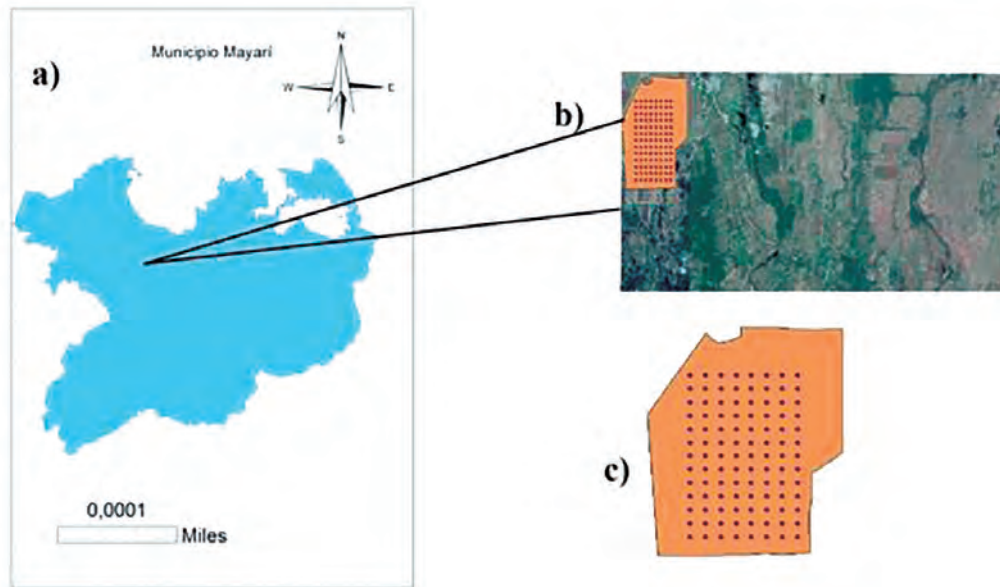


FIGURE 1. Agroecosystem Mayarí (a), image of the SAS Planet of the Guaro rice production area (b) and Grid of points (c).
 FIGURA 1. Agroecosistema Mayarí (a), imagen del SAS Planet del área de producción arrocería Guaro (b) y Grilla de puntos (c).

TABLE 1. Landsat 8 sensor characteristics OLI / TIRS according to (United State of Geological Survey, 2016)
 TABLA 1. Características del sensor Landsat 8 OLI/TIRS según (United State of Geological Survey, 2016)

Bands	Band Color	Wavelength (µm)	Resolution (m)
1	Coastal Aerosol	0.433 - 0.453	30
2	Blue	0.450 - 0.515	30
3	Green	0.525 - 0.600	30
4	Red	0.630 - 0.680	30
5	Near Infrared Shortwave (NIR)	0.845 - 0.885	30
6	Infrared Shortwave (SWIR1)	1.560 - 1.660	30
7	Infrared Shortwave (SWIR2)	2.100 - 2.300	30
8	Panchromatic	0.500 - 0.680	15
9	Cirrus	1.360 - 1.390	30
10	Thermal Infrared (TIRS1)	10.30 - 11.30	100
11	Thermal Infrared (TIRS2)	11.50 - 12.50	100

Radiometric correction was performed on the image to eliminate the effects caused by atmospheric factors in the QGIS software version 3.10 A Coruña. The spectral index used for the estimation of electrical conductivity are shown in Table 2.

A la imagen se le realizó la corrección radiométrica para la eliminación de los efectos causados por factores atmosféricos en el software QGIS versión 3.10 A Coruña. Los índices espectrales utilizados para la estimación de la conductividad eléctrica se muestran en la Tabla 2.

TABLE 2. Spectral index determined for the estimation of the electrical conductivity of the soil
 TABLA 2. Índices espectrales determinados para la estimación de la conductividad eléctrica del suelo

Spectral salinity index	References
$NSDI=(B4-B5) / (B4+B5)$	Khan <i>et al.</i> (2001)
$SI=SWIR1 / SWIR2$	Khan <i>et al.</i> (2001)
$SI.ASTER=(B4-B3) / (B4+B5)$	Al-Khaier (2003)
$SSSI1=B9-B10$	Bannari <i>et al.</i> (2009)
$SSSI.2=(B9*B10-B10*B10) / B9$	Bannari <i>et al.</i> (2009)

After the digital processing of the image resulting from the determination of the spectral index of salinity, the semi-

Luego del procesamiento digital de la imagen resultante de la determinación de los índices espectrales de salinidad

empirical saline index of the electrical conductivity of the soil was predicted through mathematical models proposed by Bannari *et al.* (2009) which are indicated in the Table 3.

se predijo el índice salino semiempírico de la conductividad eléctrica del suelo a través de modelos matemáticos planteados por Bannari *et al.* (2009) los cuales se indican en la Tabla 3.

TABLE 3. Mathematical models for the calculation of the semiempirical index of electrical conductivity and spectral index for the determination of electrical conductivity from spectral information

TABLA 3. Modelos matemáticos para el cálculo del índice semiempírico de la conductividad eléctrica e índices espectrales para la determinación de la conductividad eléctrica a partir de información espectral

Spectral salinity index	Mathematical models to estimate the EC
NDSI	$CE = 627.45x^2 + 147.16x + 9.71$
SI	$CE = 1082.80x^2 - 2202x + 1121$
SI.ASTER	$CE = 5643x^2 - 117.91x + 2.18$
SSSI.1	$CE = 3212x^2 + 132.20x + 0.397$
SSSI.2	$CE = 4521x^2 + 124.5x + 0.407$

For the classification of soil salinity, the one proposed by Taylor (1993) was used, it presents a scale that adopts salinity classes adapted for predictive models of electrical conductivity with values between 0 % and 100% dS. m⁻¹ respectively. The statistical analysis was carried out in the Statgraphics Plus version 5.1 software in which the linear regression analysis of the spectral information and the estimated values of electrical conductivity was carried out.

Para la clasificación de la salinidad del suelo se usó la propuesta por Taylor (1993), la misma presenta una escala que adopta clases de salinidad adaptadas para modelos predictivos de la conductividad eléctrica con valores entre 0 % y 100 % dS. m⁻¹ respectivamente. El análisis estadístico se realizó en el software *Statgraphics Plus* versión 5.1 en el cual se efectuó el análisis de regresión lineal de la información espectral y los valores estimados de conductividad eléctrica.

RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 2 the linear regression analysis of the spectral index vs. electrical conductivity estimated by means of the semi-empirical mathematical models is presented. It can be seen that both the spectral index used and the mathematical models, SI vs CE and SI.ASTER vs CE overestimate the content of salts in the soil and heterogeneity in the estimated values given by the use of different spectral bands for their determination. Elhag (2016) refers that the values of the spectral index that indicate the state of soil salinity ranges from -1 (high presence of salts) to 1 (low presence of salts in the soil).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se presenta el análisis de regresión lineal de los índices espectrales vs conductividad eléctrica estimada mediante los modelos matemáticos semiempíricos. En la misma se puede apreciar que tanto los índices espectrales utilizados como los modelos matemáticos, SI vs CE y SI.ASTER vs CE sobreestiman el contenido de sales en el suelo y heterogeneidad en los valores estimados dado por el uso de diferentes bandas espectrales para su determinación. Elhag (2016) refiere que los valores del índice espectral que indica el estado de la salinidad del suelo oscila desde -1 (presencia alta de sales) a 1 (baja presencia de sales en el suelo).

The use of linear models to determine the error in the determination of salinity by remote sensing is widely used to reduce the interferences caused by the spatial and temporal variation of salts in the soil (Scudiero *et al.*, 2015). Studies by Ma *et al.* (2017) and Bannari *et al.* (2009; 2016), validated the use of linear models for the estimation of electrical conductivity from spectral information of saline index calculated from images from the Landsat 8 OLI / TIRS satellite. In the literature on the use of remote sensors for the determination of saline index, various methods are proposed for their calculation.

La utilización de modelos lineales para determinar el error en la determinación de la salinidad por teledetección es muy utilizado al reducir las interferencias provocada por la variación espacial y temporal de las sales en el suelo (Scudiero *et al.*, 2015). Estudios realizados por Ma *et al.* (2017) y Bannari *et al.* (2009; 2016), validaron la utilización de modelos lineales para la estimación de la conductividad eléctrica a partir de información espectral de índices salinos calculados a partir de imágenes del satélite Landsat 8 OLI/TIRS.

Khan *et al.* (2001) in their research propose the use of bands 3 and 4 of the LISS-II and IRS-1B sensor by means of the ground brightness adjustment index (BI), the NDSI and the IS. On the other hand, Al-Khaier (2003) determined by means of the NDSI different saline classes in the soil in a semi-arid zone with bands 4 and 5 of the ASTER sensor. In the study carried out by Mashimbye (2013) for the determination of electrical conductivity in the laboratory, he stated that the best way to detect soil salinity and sodicity through remote sensors is with the use of short-wave infrared-related bands (SWIR1).

En la literatura referente al uso de sensores remotos para la determinación de índices salinos proponen diversos métodos para su cálculo. Khan *et al.* (2001) en su investigación propone el uso de las bandas 3 y 4 del sensor LISS-II y IRS-1B mediante los índices de ajuste del brillo del suelo (BI), el NDSI y el IS.

Por otra parte Al-Khaier (2003) determinó mediante el NDSI diferentes clases salinas en el suelo en una zona semiárida con las bandas 4 y 5 del sensor ASTER.

En el estudio realizado por Mashimbye (2013) para la determinación de la conductividad eléctrica en laboratorio refirió que la mejor forma de detectar la salinidad y la sodicidad del suelo mediante sensores remotos es con el uso de las bandas relacionadas con el

Other scientists have directed their study on different types of soils and with salinity levels in which they use the red and near infrared bands for the analysis of vegetation and the types of salts in the soil (Howari *et al.*, 2002).

infrarrojo de onda corta (SWIR1). Otros científicos han dirigido su estudio en diferentes tipos de suelos y con niveles de salinidad en el cual utilizan las bandas roja e infrarroja cercana para el análisis de la vegetación y los tipos de sales en el suelo (Howari *et al.*, 2002).

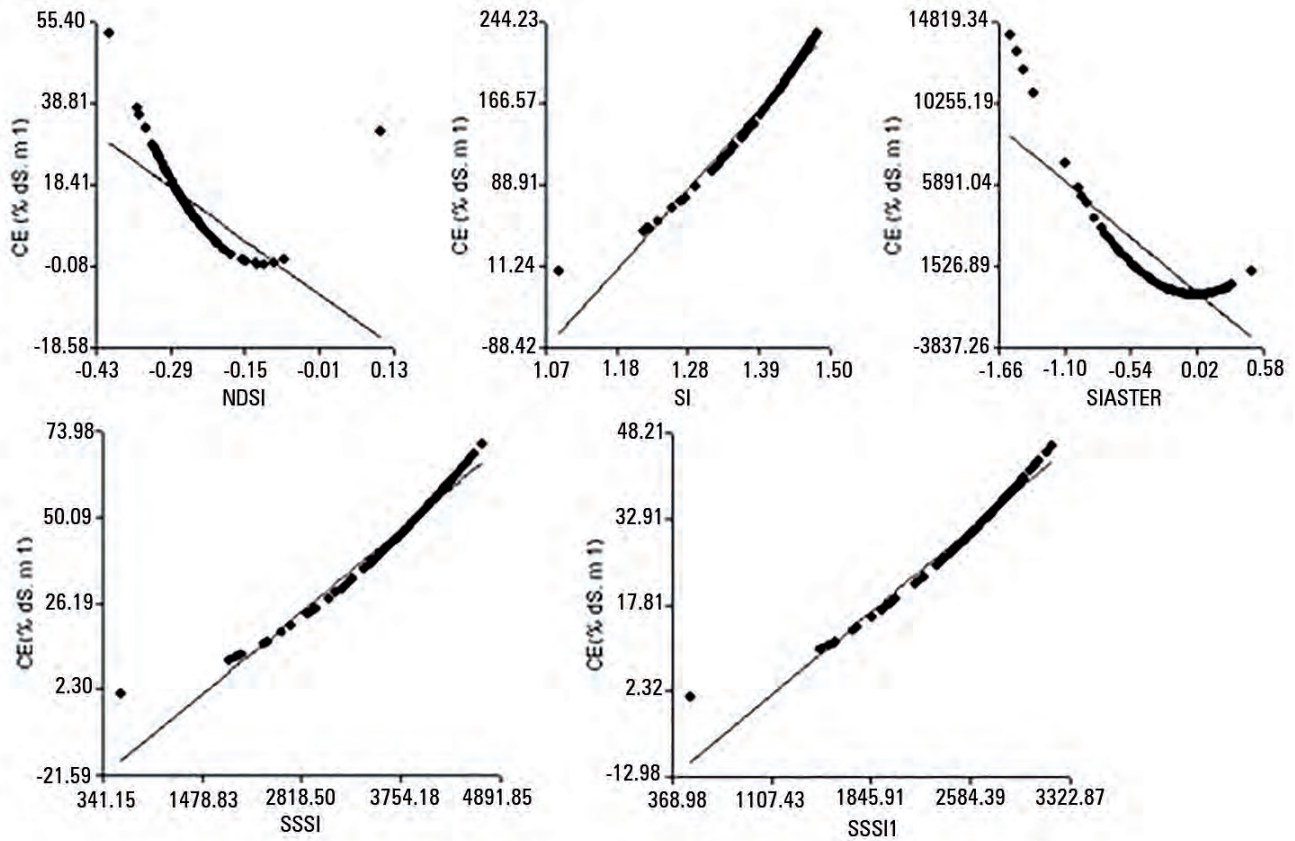


FIGURE 2. Linear regression analysis of spectral index vs electrical conductivity estimated by semi-empirical mathematical models.

FIGURA 2. Análisis de regresión lineal de los índices espectrales vs conductividad eléctrica estimada mediante modelos matemáticos semiempíricos.

TABLE 4. Statistical information from the linear regression analysis between the spectral index and the electrical conductivity estimated from semi-empirical mathematical models

TABLA 4. Información estadística del análisis de regresión lineal entre los índices espectrales y la conductividad eléctrica estimada a partir de modelos matemáticos semiempíricos

Spectral index vs EC	Coefficient of determination	Correlation coefficient	Standar error	Absolute mean error	Durbin Watson	Model equation
NDSI vs EC	73,5168	-0,6596	6,5097	3,8087	0,0675	$EC = -7,5038 - 86,8489 * NDSI$
SI vs EC	97,3034	0,9864	8,5195	5,8261	0,0518	$EC = -820,9512 + 705,5234 * SI$
SI.ASTER vs EC	73,6875	-0,8584	1351,7802	981,0384	0,0242	$EC = 210,0047 - 5286,91 * SI.ASTER$
SSSI.1 vs EC	96,9478	0,9846	2,7584	1,9690	0,0206	$EC = -28,4225 + 0,0201 * SSSI.1$
SSSI.2 vs EC	97,2118	0,98596	1,5671	1,0441	0,0418	$EC = -20,3179 + 0,0199 * SSSI.2$

Table 4 presents the statistical information of the linear regression analysis between the spectral index and estimated electrical conductivity. The NDSI vs EC model presented the lowest coefficient of determination with 73.5168% and a negative correlation of -0.6596, as did the SI model. AS-TER vs EC with -0.8584 which deduces that as this index reaches Positive values decrease the estimated electrical conductivity values. The remaining models presented a high

La Tabla 4 presenta la información estadística del análisis de regresión lineal entre los índices espectrales y conductividad eléctrica estimada. El modelo NDSI vs Ce presentó el menor coeficiente de determinación con un 73,5168 % y correlación negativa de -0,6596 al igual que el modelo SI.ASTER vs CE con -0,8584 lo cual deduce que a medida que este índice alcanza valores positivos disminuyen los valores estimados de conductividad eléctrica. Los modelos

determination and correlation coefficient close to 100%. In an investigation made by Bannari *et al.* (2016) obtained with the use of semi-empirical models and the NDSI and IS index, coefficients of determination of 70.0% and 67.0% respectively.

Based on the classification proposed by Taylor (1993), there are differences between the estimated mean values of electrical conductivity (Figure 3). According to this author, the NDSI and SSSI.2 index show moderate salinity ($20\% < EC \leq 40\%$) while the use of the SI-ASTER and SSSI.1 produce an overestimation with values greater than 100% and evidence of an area with extreme salinity conditions ($EC \geq 100\%$). According to El-Battay *et al.* (2017) indicates the potentiality of the NDSI, SI and SI-ASTER index for estimating the electrical conductivity of the soil in arid agroecosystems, and refers that the SSSI.1 performed an overestimation with average values of 145.24%; which causes confusion when it comes to an investigation of this type.

restantes presentaron una alta determinación y coeficiente de correlación cercanos al 100 %.

En una investigación realizada por Bannari *et al.* (2016) obtuvo con el uso de los modelos semiempíricos y los índices NDSI e IS coeficientes de determinación de un 70,0% y un 67,0% respectivamente.

Basado en la clasificación planteada por Taylor (1993), la misma presenta una escala que adopta clases de salinidad adaptadas para modelos predictivos de la se aprecia diferencias entre los valores medios estimados de conductividad eléctrica (Figura 3). De acuerdo a este autor los índices NDSI y SSSI.2 muestran una salinidad moderada ($20\% < EC \leq 40\%$) mientras que el uso del SI-ASTER y SSSI.1 producen una sobreestimación con valores superiores al 100 % y evidencia un área con condiciones extremas de salinidad ($EC \geq 100\%$).

Según El-Battay *et al.* (2017) indica la potencialidad de los índices NDSI, SI E SI-ASTER para la estimación de la conductividad eléctrica del suelo en agroecosistemas áridos, y refiere que el SSSI.1 realizó una sobreestimación con valores promedios de 145,24 %; el cual causa confusión cuando se trata de una investigación de este tipo.

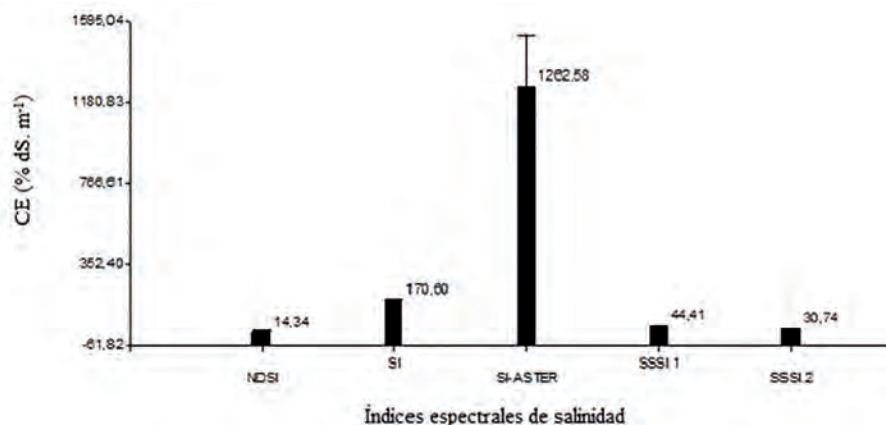


FIGURE 3. Graphic representation of the estimated mean values of electrical conductivity through the calculated spectral index.
FIGURA 3. Representación gráfica de los valores medio estimados de conductividad eléctrica mediante los índices espectrales calculados.

CONCLUSIONS

The determination of electrical conductivity through the use of spectral information is an indicator of this property in the soil and rice crop conditions studied. Although the use of spectral salinity index yielded a high determination, the SI and the SI-ASTER indicated an overestimation of the electrical conductivity existing in the soil, which could be due to the presence of a saturation of the signal captured by the sensor and reflected in the index obtained, which exceeded the values in which the saline index oscillates.

REFERENCES

- ALI, S.K.; ALI, S.A.; WU, Y.; ABBASI, B.; ALPI, F.G.; ALI, L.I.; ZHOU, G.: "An assessment of the spatial and temporal distribution of soil salinity in combination with field and satellite data: a case study in Sujawal District", *[en línea] Agronomy*, DOI-<https://doi.org/10.3390/agronomy9120869>, 9(12): 869, 2019.
- AL-KHAIER, F.: *Soil salinity detection using satellite remotes sensing*, 61pp., Master's Thesis, International institute for Geoinformation Science and Earth Observation, Enschede, 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", *[en línea] Geoderma*, ISSN-0016-7061, DOI-<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025>, 230: 1-8, 2014.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.: *Water quality for agriculture*, Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, vol. 29,

CONCLUSIONES

La determinación de la conductividad eléctrica mediante la utilización de la información espectral es un indicador de esta propiedad en las condiciones de suelo y cultivo del arroz estudiada. Aunque la utilización de los índices espectrales de salinidad arrojó una alta determinación, el SI y el SI-ASTER indicaron una sobreestimación de la conductividad eléctrica existente en el suelo lo cual podría deberse a la presencia de una saturación de la señal captada por el sensor y reflejada en los índices obtenidos, la cual sobrepasó los valores en los cuales oscila el índice salino.

ISBN-92-5-102263-1, 1985.

- BALAKRISHNAN, P.; SALEEM, A.; MALLIKARJUN, N.: "Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS): A case study of Gulbarga City, Karnataka, India", [en línea] *African Journal of Environmental Science and Technology*, ISSN-1996-0786, DOI-<https://doi.org/10.5897/AJEST11.134>, 5(12): 1069-1084, 2011.
- BANNARI, A.; GUÉDON, A.; EL-GHMARI, A.: "Mapping slight and moderate saline soils in irrigated agricultural land using advanced land imager sensor (EO-1) data and semi-empirical models", [en línea] *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, ISSN-0010-3624, DOI-<https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1206919>, 47(16): 1883-1906, 2016.
- BANNARI, A.; GUEDON, A.; EL-HARTI, A.; CHERKAOUI, F.; EL-GHMARI, A.; SAQUAQUE, A.: "Slight and moderate saline and sodic soils characterization in irrigated agricultural land using multispectral remote sensing", [en línea] *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, DOI-<https://doi.org/10.1080/00103620802432717>, 34(Part XXX), 2009.
- DING, J.; YU, D.: "Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan–Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments", [en línea] *Geoderma*, ISSN-0016-7061, DOI-<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.028>, 235: 316-322, 2014.
- EL-BATTAY, A.; BANNARI, A.; HAMEID, N.; ABAHUSSAIN, A.: "Comparative study among different semi-empirical models for soil salinity prediction in an arid environment using OLI Landsat-8 data", [en línea] *Advances in Remote Sensing*, DOI-DOI: <https://doi.org/10.4236/ars.2017.61002>, 6(01): 23, 2017.
- ELHAG, M.: "Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems, Saudi Arabia", [en línea] *Journal of Sensors*, ISSN-1687-725X, DOI-<https://doi.org/10.1155/2016/7596175>, 2016, 2016.
- HARTI, E.A.; LHISSOU, R.; CHOKMANI, K.; OUZEMOU, J.-E.; HASSOUNA, M.; BACHAOUI, E.M.; EL GHMARI, A.: "Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices", [en línea] *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ISSN-0303-2434, DOI-<https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.03.008>, 50: 64-73, 2016.
- HOWARI, F.; GOODELL, P.; MIYAMOTO, S.: "Spectral properties of salt crusts formed on saline soils", [en línea] *Journal of Environmental Quality*, ISSN-0047-2425, DOI-<https://doi.org/10.2134/jeq2002.1453>, 31(5): 1453-1461, 2002.
- KHAN, N.; RASTOSKUEV, V.; SHALINA, E.; SATO, Y.: "Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators a simple approach with the use of GIS IDRISI", En: *22nd Asian Conference on Remote Sensing, Center for Remote Imaging, sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore; Singapore*, pp. 5, Singapore, 2001.
- KUMAR, N.; SINGH, S.K.; PANDEY, H.: "Drainage morphometric analysis using open access earth observation datasets in a drought-affected part of Bundelkhand, India", [en línea] *Applied Geomatics*, ISSN-1866-928X, DOI-<https://doi.org/10.1007/s12518-018-0218-2>, 10(3): 173-189, 2018.
- MA, Z.; SHI, Z.; ZHOU, Y.; XU, J.; YU, W.; YANG, Y.: "A spatial data mining algorithm for downscaling TMPA 3B43 V7 data over the Qinghai–Tibet Plateau with the effects of systematic anomalies removed", [en línea] *Remote Sensing of Environment*, ISSN-0034-4257, DOI-<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.023>, 200: 378-395, 2017.
- MASHIMBYE, Z.E.: *Remote sensing of salt-affected soil*, 151pp., Ph.D. Thesis, Stellenbosch University, Faculty of AgriSciences, Stellenbosch, South Africa, 2013.
- PUJOL, O.R.; HERRERA, P.J.; CID, L.G.; ALARCÓN, L.R.; LÓPEZ, C.G.: "Evaluación del funcionamiento hidráulico del drenaje soterrado en áreas arroceras de la zona norte de la provincia Granma, Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, 18(3): 30-34, 2009.
- SCUDIERO, E.; SKAGGS, T.H.; CORWIN, D.L.: "Regional-scale soil salinity assessment using Landsat ETM+ canopy reflectance", [en línea] *Remote Sensing of Environment*, ISSN-0034-4257, DOI-<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.0260034>, 169: 335-343, 2015.
- SIDIKE, A.; ZHAO, S.; WEN, Y.: "Estimating soil salinity in Pingluo County of China using QuickBird data and soil reflectance spectra", [en línea] *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ISSN-0303-2434, DOI-<https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.06.002>, 26: 156-175, 2014.
- TAYLOR, S.: *Dryland salinity: introductory extension notes*, Ed. Department of Land and Water Conservation, pp. 63, ISBN-978-0-7310-1124-7, Sydney, Australia, 1993.
- UNITED STATE OF GEOLOGICAL SURVEY: "Landsat Earth observation satellites: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081", [en línea] DOI-<https://doi.org/10.3133/fs20153081>, 4, 2016.
- ZAMAN, M.; SHAHID, S.A.; HENG, L.: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, Ed. Springer: New York, vol. 3, pp. 43-53, ISBN-978-3-319-96190-3, NY, USA, 2018.

Roberto Alejandro García-Reyes, Profesor de la Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Holguín, Cuba, e-mail: ralejandro9409@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8950-0268>

Mario Damian González Posada-Dacosta, Profesor de la Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Cuba, e-mail: mgonzalezposada@udg.co.cu ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7410-6703>

Juan Alejandro Villazón-Gómez, Profesor de la Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos, Holguín, Cuba, e-mail: villazon@uho.edu.cu ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2436-0591>

Sergio Rodríguez-Rodríguez, Profesor de la Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal, Bayamo, Cuba, e-mail: srodriguezr@udg.co.cu ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2923-5092>

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.