

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Comparación de firmas espectrales vis-NIR de suelos cultivados con caña de azúcar (*Sacharum* sp.) en la provincia de Villa Clara

Comparison of vis-NIR spectral signatures of soils cultivated with sugarcane (*Sacharum* sp.) in the Villa Clara province

Ahmed Chacón-Iznaga^{1,2}, Miguel Rodríguez-Orozco³, Edith Aguila-Alcantara¹, Ariany Colás-Sánchez², Diana González-Aguilar³, Delia Luisa Alvarez-Vázquez¹, Josse de Baerdemaeker⁴ y Wouter Saeys⁴

¹ Departamento de Agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV). Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830

² Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV). Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830

³ Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV). Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830

⁴ Universidad Católica de Lovaina (KU Leuven). Kasteelpark Arenberg 30, B-3001 Leuven, Bélgica

Autor para correspondencia: ahmedci@uclv.edu.cu

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar las firmas espectrales de dos tipos de suelos agrícolas, Pardo mullido carbonatado y Vertisol, cultivados con caña de azúcar en la provincia de Villa Clara, Cuba. Las muestras de suelo se colectaron en dos niveles: 1) diferentes campos de la provincia (DC), 2) campo específico (CE). Las firmas espectrales vis-NIR se adquirieron a nivel de laboratorio con un espectrofotómetro portátil en el rango de longitud de onda de 399 a 1697 nm. Los resultados mostraron que los espectros de absorbancia de estos tipos de suelos pueden distinguirse, lo que sugiere que el tipo de suelo podría identificarse a partir de los espectros obtenidos. La absorbancia de luz varió con la longitud de onda en cada tipo de suelo en DC y CE. Una comparación visual de la forma de los espectros y la variación entre DC y CE dentro del mismo tipo de suelo mostró alguna similitud. Alrededor de 1400 nm en ambos tipos de suelo, los valores de absorbancia aumentaron y disminuyeron seguidamente. Estas características demuestran una excelente coincidencia entre las firmas espectrales de DC y CE. Además, en CE se observó que el patrón de absorbancia del suelo aumenta en la misma medida en que se incrementa la materia orgánica (MO%). En suelo Pardo mullido carbonatado este patrón se observó a 399 nm, mientras que para Vertisol fue cerca de 580 nm.

Palabras clave: absorbancia, espectros, infrarrojo cercano, visible

ABSTRACT

The objective of this research was to compare the spectral signature of two soil types, Cambisol and Vertisol, cultivated with sugarcane in the Villa Clara province, Cuba. The soil samples were collected at two levels: 1) Landscape level of the province (DC), 2) within a field (CE). The vis-NIR spectral signatures were acquired in the laboratory by means of a diode array spectrophotometer covering the wavelength range from 399 to 1697 nm. The results showed that the absorbance spectra of these two soil types can clearly be distinguished, which suggests that the soil type could be derived from the spectra. The light absorbance by the soil varied with wavelength in each soil type in DC and CE. A visual comparison of the spectral shape and the variation between a field and landscape within the same soil group showed some similitude. Around the wavelength of 1400 nm in both soil types the absorbance values increase and consequently decrease again. These characteristics bring a good match of the spectral signatures of DC and CE. In addition, in CE an increasing pattern of soil absorbance was observed as organic matter (OM %) increases. This pattern was observed around 399 nm and 580 nm while for Cambisol and Vertisol respectively.

Keywords: absorbance, spectra, near infrared, visible

INTRODUCCIÓN

La espectroscopia en el visible (vis) e infrarrojo cercano (NIR) es una herramienta eficaz para analizar los parámetros de fertilidad del suelo. Básicamente Cécillon *et al.* (2009) distinguen tres tipos de mediciones vis-NIR para suelos: (i) mediciones de laboratorio, (ii) mediciones de sensores proximales y (iii) mediciones de sensores remotos. Las mediciones espectrales vis-NIR en muestras de suelo pueden realizarse en modo de reflectancia o modo de transmisión. Para ello, diversos espectrofotómetros con iguales o diferentes resoluciones se utilizan comúnmente en la adquisición de espectros de suelo. Los espectrofotómetros han sido utilizados en la agricultura comercial, pero su empleo para la medición de parámetros de fertilidad del suelo es relativamente reciente (Veris, 2012). Las investigaciones realizadas en esta temática han contribuido a mejorar la utilidad de las firmas espectrales de las muestras de suelo colectadas en los campos agrícolas.

La aplicación analítica más común de la espectrofotometría utiliza la relación entre absorbancia y concentración. Esta relación es descrita por la ley Lambert-Bouger-Beer, que expresa cómo la luz es absorbida por la materia (Sauer *et al.*, 2010).

Según Stenberg *et al.* (2010) la longitud de onda a la que tiene lugar la absorción depende también de la matriz química y de los factores como grupos funcionales vecinos y temperatura, permitiendo la detección de un rango de moléculas que pueden contener el mismo tipo de enlaces. Esta investigación tiene como objetivo comparar las firmas espectrales de dos tipos de suelos agrícolas cultivados con caña de azúcar (*Sacharum* sp.) en la provincia Villa Clara, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS**Áreas de estudio**

Los campos estudiados se encuentran en la provincia de Villa Clara, localizada en la parte central de Cuba, en las coordenadas 22°16', 23°09' de latitud norte y 80°02', 80°25' de longitud oeste. El principal criterio la selección de estas áreas pertenecientes en diferentes campos agrícolas (DC = Landscape - comprende las características visibles de la tierra en un área y usualmente son definidos como el resultado visual del uso de la tierra y de los sistemas de manejo en un área-) es la amplia variación de los factores edáficos vinculados a la concentración de parámetros de fertilidad de los tipos de suelo Pardo mullido carbonatado y Vertisol. En campo específico (CE) se seleccionaron muestras de dos áreas de 2,03 ha para el tipo Pardo mullido

carbonatado y 1,96 ha para Vertisol.

Configuración del equipo

La configuración del equipo para la adquisición de los espectros de reflectancia vis-NIR de las muestras de suelo en el laboratorio se ilustran en la Figura 1. Esta consiste en un espectrofotómetro de diodos (CORONA PLUS REMOTE vis-NIR SB, Zeiss, Jena, Alemania) y un cabezal de medición OMK 500-H conectado a él con un haz de fibra óptica. En esta investigación se utilizó el software Aspect-plus suministrado por Carl Zeiss Jena GmbH.

Adquisición de datos espectrales

En el laboratorio se realizaron las mediciones espectrales vis (visible) - NIR (infrarrojo cercano) de las muestras de suelo colectadas en diferentes campos (DC = Landscape) y en un campo específico (CE). Todos los espectros se obtuvieron usando los mismos ajustes de instrumento: promedio 10 escaneos por espectro, medición en modo de reflectancia (R), rango de longitud de onda de 399 a 1697 nm. Los tiempos de integración para los rangos vis (Si: 399 - 780 nm) y NIR (InGaAs: 780 - 1697 nm) se ajustaron a 54 ms y 43 ms, respectivamente. La resolución espectral en la región visible fue de 3,3 nm y en la NIR fue de 10 nm.

Se colocaron 30 g de cada muestra de suelo en una placa Petri de 10 mm de profundidad y

35 mm de diámetro. El suelo en la placa Petri fue compactado y nivelado cuidadosamente para obtener una superficie lisa y reducir la variación debido al empaque del suelo. Cada placa Petri con 30 g de suelo se colocaron bajo el sensor del suelo en el punto focal. Entonces tres espectros de reflectancia (R) se tomaron sobre el área central de la placa Petri girando la muestra aproximadamente 120° entre las adquisiciones espectrales posteriores. Los tres espectros de cada muestra de suelo se promediaron para obtener un espectro promedio por muestra. Cada espectro se guardó como archivos individuales (.csv), y luego esos archivos se articularon en una matriz única que se exportó en el software MATLAB 7.9 (R2009b, The Mathworks, Nattick, MT). Los espectros de reflectancia (R) fueron convertidos en unidades de absorbancia utilizando la transformación $\log(1/R)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Absorbancia espectral a nivel de diferentes campos (DC=Landscape)

En la Figura 2 se muestra la representación gráfica de la absorbancia espectral de las muestras de suelo en función del rango de longitud de onda comprendido en la región vis-NIR. Los espectros de absorbancia se distinguen claramente, lo que sugiere que el tipo de suelo pudiera identificarse mediante la firma espectral. En sentido general, la longitud

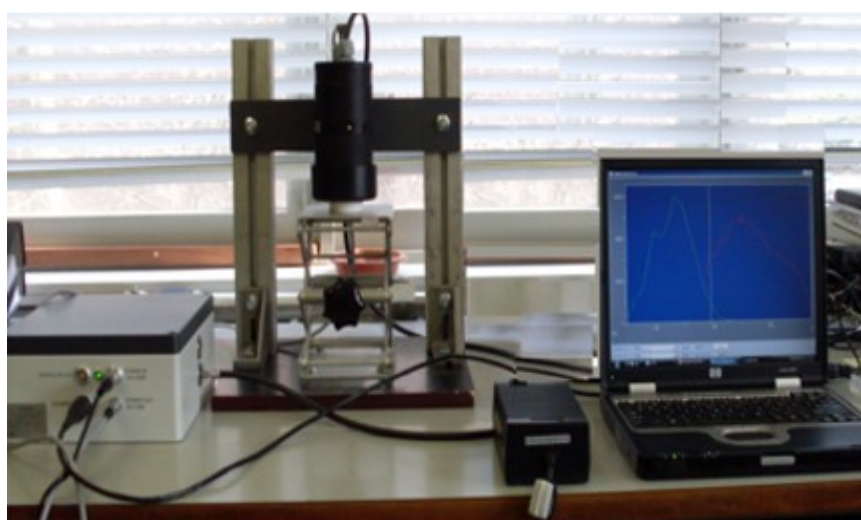
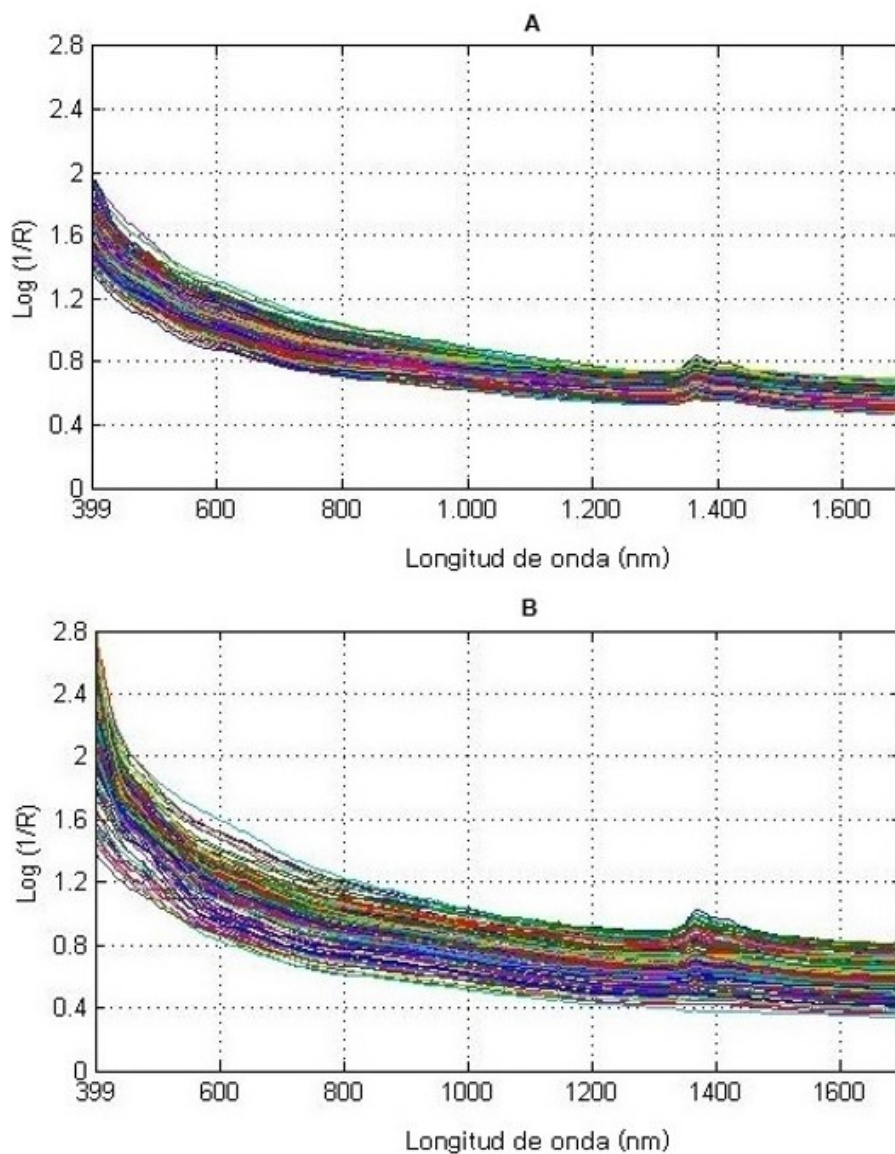


Figura 1. Configuración (*set up*) para la adquisición de los espectros de reflectancia vis-NIR

de onda en la cual el fotón incidente se absorbe es determinada por la diferencia en los niveles de energía disponibles de las diferentes sustancias presentes en las muestras analizadas. Esta es la selectividad de la espectrometría de absorbancia, la capacidad de generar fuentes de fotones (luz) que son absorbidas sólo por algunos componentes en una muestra.

La absorbancia de la luz por el suelo varió con la longitud de onda en cada grupo de suelo. Además, el patrón de firmas espectrales para cada tipo de suelo en DC fue muy similar. De acuerdo con ello, los valores de absorbancia disminuyeron con el aumento de

la longitud de onda. Sin embargo, los espectros de ambos tipos de muestras de suelo tienen las mismas características generales. En el visible (399 - 780 nm), la absorbancia fue mayor que en la región NIR (780-1697 nm). También, los valores máximos de absorbancia se observaron en 399 nm para ambos tipos de suelo. Las magnitudes de absorbancia de estas firmas espectrales para cada tipo de suelo fueron diferentes. Alrededor de 1450 nm en ambos grupos de suelo los valores de absorbancia aumentan y consecuentemente disminuyen nuevamente alrededor de la misma longitud de onda. Para el tipo de suelo



A - Pardo mullido carbonatado B - Vertisol

Figura 2. Espectro de absorbancia para las muestras de suelo colectadas en diferentes campos (DC)

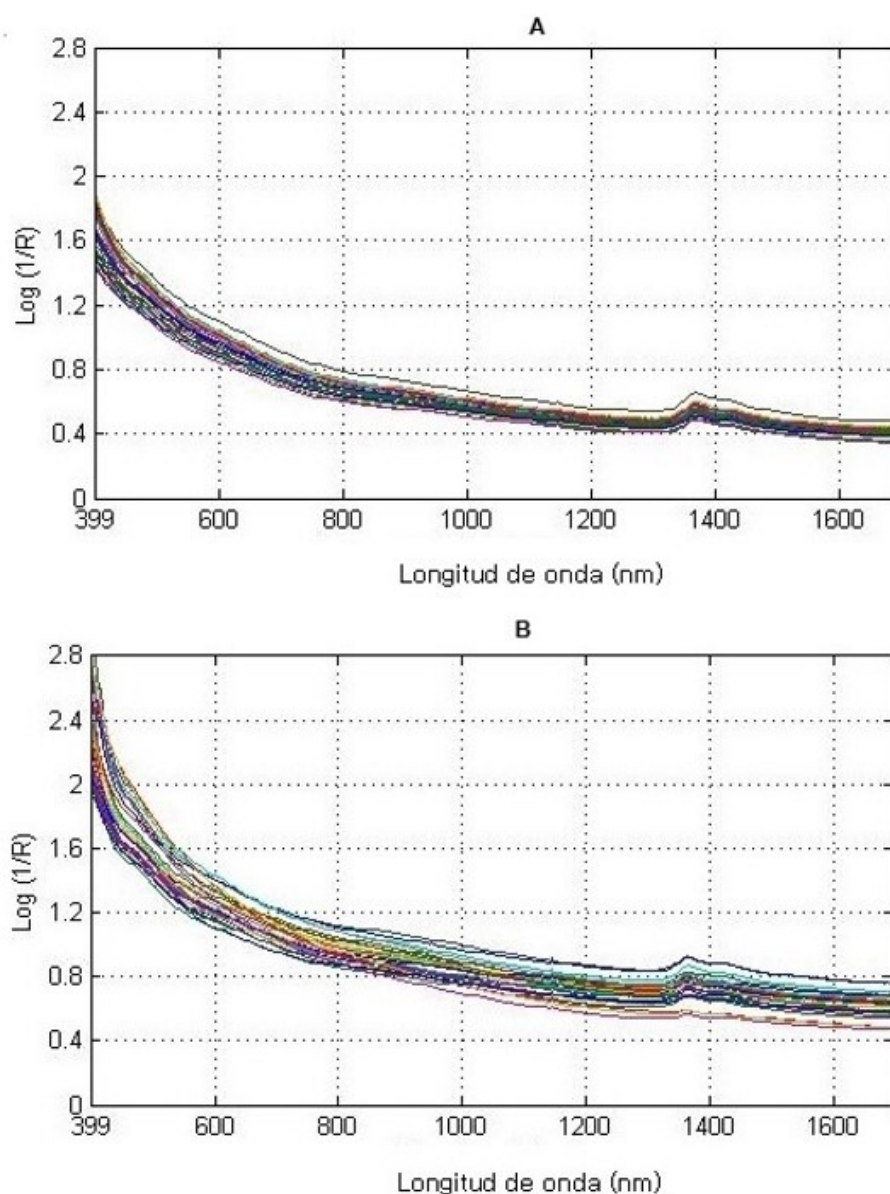
Pardo mullido carbonatado los valores de absorbancia fueron generalmente inferiores al tipo Vertisol. Por otro lado, las características de absorción alrededor de 1450 nm se destacaron en ambos grupos de suelo.

El principio fundamental de la espectroscopia vis-NIR se basa en las diferencias en las características moleculares, donde las firmas espectrales de diferentes materiales se categorizan en función de sus espectros de absorbancia. Estos resultados coinciden con lo reportado por Conforti *et al.* (2014) y Vasques *et al.* (2015).

Absorbancia espectral dentro de un campo específico (CE)

Dentro de un campo específico, la absorbancia de las muestras de suelo secadas al aire, disminuyó a medida que la longitud de onda y los valores máximos se observaron a 399 nm, correspondiente a la región visible. Este patrón fue muy similar para los tipos Pardo mullido carbonatado y Vertisol (Figura 3).

En general, para el primer grupo de los valores de absorbancia fueron más bajos. Además, en la región NIR la absorbancia



A - Pardo mullido carbonatado B - Vertisol

Figura 3. Espectro de absorbancia para las muestras de suelo colectadas en un mismo campo específico

espectral para CE, en los tipos de suelo Pardo mullido carbonatado y Vertisol, mostró un fuerte pico alrededor de 1400 nm y luego, una disminución hacia 1697 nm. El cambio en las firmas se refiere a la extensión vibratoria y la flexión de átomos que organizan moléculas y cristales, lo cual coincide con lo reportado por Mohamed *et al.* (2018). A mayor intensidad de color, mayor será la absorbancia de la muestra de suelo en una determinada longitud de onda.

Una comparación visual de la forma espectral y la variación entre CE y DC dentro del mismo tipo de suelo mostró alguna similitud. Esta similitud está relacionada con los valores de absorbancia que disminuyeron desde la región vis a la NIR. Por otro lado, un pico similar fue observado alrededor de los 1400 nm, lo que significa que las curvas de absorbancia alcanzan un valor máximo en las bandas de absorción de agua. Estas características brindan una buena coincidencia entre las firmas espectrales a nivel de CE y DC. Incluso cuando está seco, el suelo arcilloso se sumerge en bandas de absorción de agua alrededor de los 1400 nm, dado que este tipo de suelo posee moléculas de agua en su composición química y todas no son eliminadas mediante el proceso de secado al aire. Esta última afirmación coincide con lo reportado por Choudhury (2013); Vågen *et al.* (2016). A mayor intensidad de color, mayor será la absorbancia de la muestra de suelo en una determinada longitud de onda.

En correspondencia con Gonzáles y Hernández (2002) y Martínez y Osorio (2018) debido a que generalmente los colores no solo son producidos por una sola longitud de onda de espectro puro, no resulta simple la determinación de la absorbancia mediante el color, dado que este puede resultar de una interferencia a diversas longitudes de onda, lo que genera un color observado como consecuencia de la interferencia constructiva o destructiva de ciertas longitudes de onda.

En ambos tipos de suelos, se observó un patrón creciente de absorbancia a medida que aumentaba el MO %. Para el tipo Pardo mullido carbonatado este patrón se obtuvo a 399 nm, mientras que para el Vertisol fue

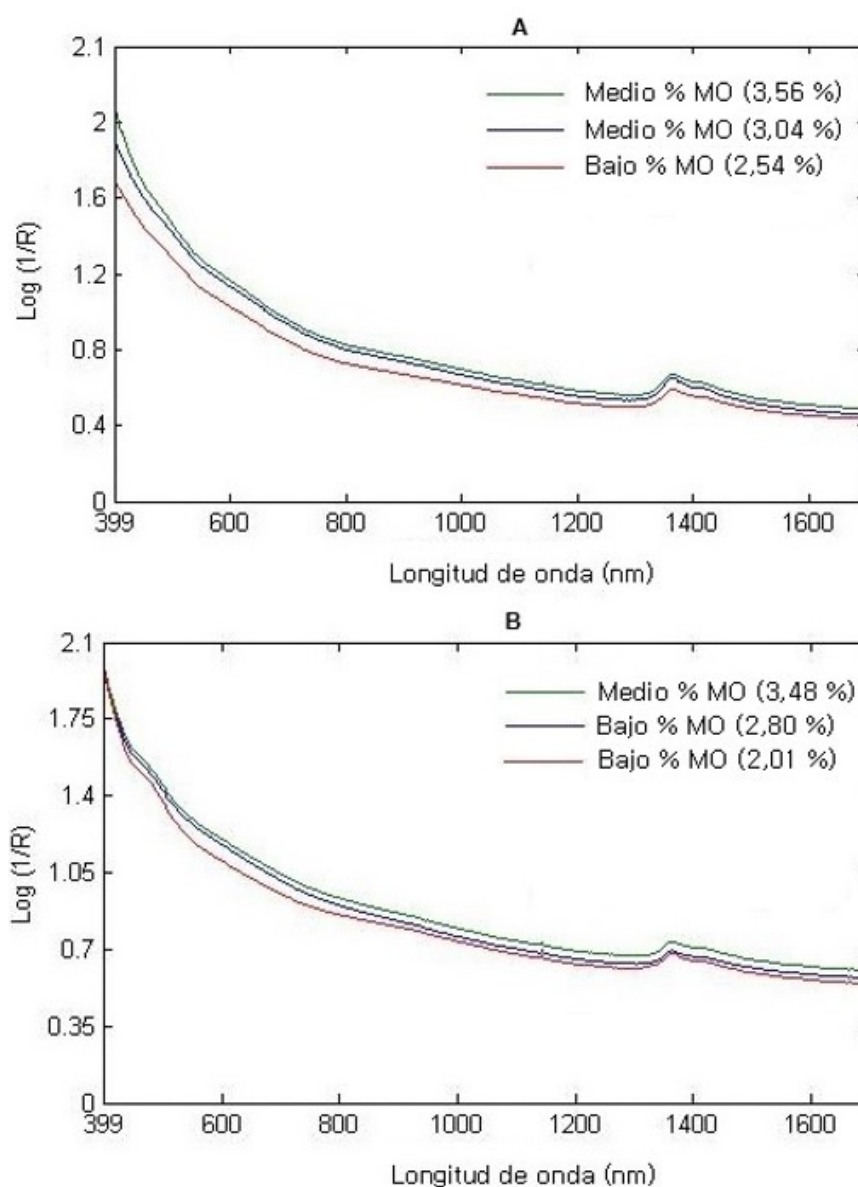
observado claramente alrededor de 580 nm (Figura 4). Esta relación se produce principalmente en suelos con más del 1,5 % de MO. Así, Asrar (1989) consideraron que un aumento del contenido de MO de un suelo, en general provoca una disminución de la reflectancia (R) en todo el espectro y por consiguiente un incremento de la absorbancia [$\log (1/R)$]. Un alto contenido de MO y, por tanto, una fuerte disminución de la reflectancia global, podría incluso enmascarar otras características de absorción en los espectros de suelo. Por otra parte, cuando los suelos tienen menos del 1,5 %, el contenido de óxido de hierro (Fe_2O_3) del suelo ejerce un efecto significativo sobre su nivel de absorbancia (Montgomery, 1976; Yin *et al.*, 2013; Rossel y Bouma, 2016).

CONCLUSIONES

Se obtuvieron firmas espectrales distintas entre los dos tipos de suelo, observándose que dentro de un campo específico hubo una variación significativa entre los espectros de absorbancia de los tipos de suelo Pardo mullido carbonatado y Vertisol. Los valores de absorbancia observados en la región vis fueron inferiores a los de la región NIR. En ambos tipos de suelo se obtuvo un patrón creciente de absorbancia de las muestras de suelo a medida que aumentaba el % de materia orgánica.

BIBLIOGRAFÍA

- ASRAR, G. 1989. Theory and applications of optical remote sensing. New York: Wiley, pp. 66-106.
- CÉCILLON, L., BARTHÈS, B.G., GOMEZ, C., *et al.* 2009. Assessment and monitoring of soil quality using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). European Journal of Soil Science, 60 (5), pp.770-784.
- CHOUDHURY, S. 2013. An introduction to geographic information technology. IK International Pvt Ltd.
- CONFORTI, M., FROIO, R., MATTEUCCI, G. y BUTTAFUOCO, G. 2015. Visible and near



A - Pardo mullido carbonatado B - Vertisol

Figura 4. Espectro de absorbancia de suelo con diferentes contenidos de materia orgánica en un campo específicos (CE)

infrared spectroscopy for predicting texture in forest soil: an application in southern Italy. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8 (3), p. 339.

GONZÁLES, C. y HERNÁNDEZ, L. 2002. *Introducción al análisis instrumental*. Barcelona: Ariel.

MARTÍNEZ, M. E. y OSORIO, A. F. 2018. Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de la Facultad de*

Ciencias, 7 (1), pp. 143-155.

MOHAMED, E.S., SALEH, A.M., BELAL, A.B. y GAD, A. 2018. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21 (1), pp.1-14.

MONTGOMERY, O.L., 1976. An investigation of the relationship between spectral reflectance and the chemical, physical and genetic characteristics of soils. *Technical*

- Report 082776, Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- ROSSEL, R.A.V. y BOUMA, J. 2016. Soil sensing: A new paradigm for agriculture. *Agricultural Systems*, 148, pp.71-74.
- SAUER, M., HOFKENS, J. y ENDERLEIN, J. 2010. Handbook of fluorescence spectroscopy and imaging: from ensemble to single molecules. John Wiley & Sons, p. 290.
- STENBERG, B., ROSSEL, R.A.V., MOUAZEN, A.M. and WETTERLIND, J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. *Advances in agronomy*, 107, pp. 163-215. Academic Press.
- VÅGEN, T. G., LEIGH, A., WINOWIECKI, A., *et al.* 2016. Mapping of soil properties and land degradation risk in Africa using MODIS reflectance. *Geoderma*, 263, pp. 216-225.
- VASQUES, G.M., DEMATTÊ, J.A.M., ROSSEL, R.A.V., *et al.* 2014. Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. *Geoderma*, 223, pp.73-78.
- VERIS. 2012. VIS-NIR - Spectrophotometer: Addressing tomorrow's soil challenges today. Veristech publications.
- YIN, Z., LEI, T., YAN, Q., *et al.* 2013. A near-infrared reflectance sensor for soil surface moisture measurement. *Computers and electronics in agriculture*, 99, pp.101-107.

Recibido el 21 de marzo de 2018 y Aceptado el 20 de septiembre de 2019