

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Estimación de la materia orgánica en suelo Pardo mullido medianamente lavado mediante espectroscopia vis-NIR

Estimation of soil organic matter in Cambisol soil using vis-NIR spectroscopy

Diana González-Aguiar^{1,2} , Ariany Colás-Sánchez² , Oralia Rodríguez-López² ,
Delia Luisa Álvarez-Vázquez³ , Sirley Gattorno-Muñoz² , Ahmed Chacón-Iznaga^{3,2} 

¹ 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

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 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

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 25/03/2019
Aceptado: 08/06/2020

CONFLICTOS DE INTERESES

No se declaran conflictos de interés entre autores ni con la Institución.

CORRESPONDENCIA

Diana González-Aguiar
digaguiar@uclv.cu
Ahmed Chacón-Iznaga
ahmedci@uclv.edu.cu



RESUMEN

La investigación se desarrolló en la empresa agropecuaria Valle del Yabú, ubicada en el municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. El objetivo fue estimar el contenido de materia orgánica del suelo con el uso de la técnica de espectroscopia de reflectancia en el visible e infrarrojo cercano (vis-NIR) en áreas de suelo Pardo mullido medianamente lavado. Se colectaron muestras de suelo en el paisaje edáfico para conformar el set de calibración y en dos campos específicos para constituir los sets de validación. Se utilizó un espectrofotómetro portátil en el rango de longitud de onda de 399 a 1697 nm. Para el desarrollo de los modelos se aplicó la técnica estadística multivariable de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR). La fiabilidad de los modelos se determinó mediante el coeficiente de determinación R^2 . Los resultados mostraron que las lecturas de reflectancia espectral variaron con la longitud de onda y hubo un incremento de la misma desde la región visible (379 - 780 nm), a la del infrarrojo cercano (780 - 1700 nm). La precisión del modelo de calibración vis-NIR obtenido en el paisaje edáfico, se evaluó de bien y de muy bien con valores R^2 de 0,89 y 0,90 respectivamente cuando se validó en los campos específicos

seleccionados, lo que evidenció la correcta estimación del contenido de materia orgánica del suelo.

Palabras clave: análisis de suelo, infrarrojo cercano, visible

ABSTRACT

The investigation was developed in the agricultural company “Valley del Yabú” located in Santa Clara, Villa Clara province. The objective was to estimate the soil organic matter content with the use of visible and near infrared (vis-NIR) reflectance spectroscopy technique in Cambisol soil. Soil samples were collected at the landscape level to conform the calibration set and in two specific fields to constitute the validation sets. A portable spectrophotometer was used in the wavelength range from 399 to 1697 nm. Reflectance data were related to soil organic matter using partial least squares regression (PLSR). The model accuracy was determined by means of the determination coefficient (R^2). Results showed that the reflectance lectures varied with the wavelength and there was an increment from the visible region (379 - 780 nm), to the near infrared region (780 - 1700 nm). The vis-NIR calibration model accuracy obtained at the landscape level was evaluated of good and very good with R^2 values of 0.89 and 0.90 respectively when it was validated in the selected specific fields, which showed the correct estimation of the soil organic matter content.

Keywords: soil analysis, near infrared, visible

INTRODUCCIÓN

Los suelos contienen materia orgánica derivada directamente de los residuos de plantas y animales, la cual es transformada en humus durante la descomposición biológica de estos. Se requiere evaluar y comprender la variabilidad espacial de las propiedades químicas de los suelos y los rendimientos de los cultivos, para determinar con precisión las prácticas y enmiendas de gestión del suelo óptimas, que contribuyan a mejorar la cantidad y calidad de la producción agrícola, a la vez que sean ambientalmente sostenibles (Awe *et al.* 2015, Aranyos *et al.*, 2016; Gajda *et al.*, 2016). Por lo anterior cada vez es más necesaria la utilización conjunta de técnicas de análisis que sean capaces de determinar los patrones de variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los cultivos, requiriendo el menor número posible de muestras. Además, los métodos convencionales utilizados en la determinación del contenido de materia orgánica del suelo en áreas cultivables, están sujetos a la percepción subjetiva que da lugar a inconsistencia de los resultados, consumen mucho tiempo, esfuerzo y son costosos (Chang *et al.*, 2001; Chacón-Iznaga *et al.*, 2014; Xu *et*

al., 2019).

La espectroscopia en el visible (vis) e infrarrojo cercano (NIR), tiene un gran potencial para estimar simultáneamente propiedades del suelo y es una técnica analítica rápida, económica, cuantitativa y ecológica (De Souza *et al.*, 2020). Esta técnica puede ponerse en función de determinar con precisión el nivel de materia orgánica existente en el suelo, en un corto tiempo, con bajo costo, con menos recursos y de forma más eficiente (Stenberg *et al.*, 2010; Conforti *et al.*, 2015; Shi *et al.*, 2015). La aplicación de tecnologías no destructivas, más rápidas y efectivas como la espectroscopia vis-NIR, resulta imprescindible para recopilar con precisión la información necesaria que permita desarrollar modelos de predicción de estos parámetros. La presente investigación propone como estimar el contenido de materia orgánica del suelo con el uso de la técnica de espectroscopia de reflectancia en el visible e infrarrojo cercano (vis-NIR) en áreas de suelo Pardo mullido medianamente lavado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, situada en la

periferia norte del municipio Santa Clara, provincia Villa Clara, en la carretera a Sagüa la Grande, kilómetro 4 ½. Se colectaron un total de 120 muestras de suelo Pardo mullido medianamente lavado (Hernández *et al.*, 2015) a una profundidad de 0 - 20 cm, en áreas agrícolas dedicadas fundamentalmente a la producción de cultivos varios, en la Unidad Básica de Producción Cooperativa 3 (UBPC 3) “Jesús Menéndez”, y de las Unidades Empresariales de Base (UEB) “Albarrán”, “Pirey”, y “Pararrayo. Estas muestras de suelo fueron colectadas en el año 2016 en dos niveles:

1. Diferentes áreas agrícolas (paisaje edáfico).
2. Dos campos específicos.

Para conformar el set de calibración se seleccionaron 72 muestras en el paisaje edáfico constituido por diferentes áreas (0,86 a 1,85 ha) de la UBPC 3 (18), UEB Pirey (24), UEB Albarrán (21) y UEB Pararrayo (9). Para ello se empleó una barrena agroquímica, trazando una diagonal imaginaria que comienza y termina a 10 m de los bordes de cada área muestreada. Se tomaron 30 submuestras de la capa arable (0 - 20 cm) que se integraron en una muestra compuesta de 1 kg de suelo. Para conformar el set de validación se tomaron muestras en dos campos específicos con máquina de pivote central pertenecientes a la zona agrícola de Conyedo (24) y la UEB Albarrán (24), con un área de 0,72 y 0,80 ha respectivamente. Se

utilizó un esquema de muestreo aleatorio estratificado. Las muestras fueron envasadas en bolsas de nylon con capacidad de 1 kg, se secaron al aire y se tamizaron a 0,5 mm.

Se determinó el contenido de materia orgánica por el método convencional de Walkley-Black (1934), en el laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Para el análisis espectral de las muestras de suelo, se utilizó un espectrofotómetro vis-NIR portátil (CORONA Plus distancia vis-NIR Zeiss, Jena, Alemania), en el rango de longitud de onda de 399 a 1697 nm. Los tiempos de integración fueron: para vis (143,5 ms) y NIR (200 ms). La configuración mínima se determinó mediante el software Aspect-plus.

Se colocó una cantidad aproximada de 12 g de las muestras de suelo en una placa de Petri de 10 mm de profundidad y 35 mm de diámetro (Figura 1), la cual se dispuso debajo del sensor en el centro del punto de coordinación. Se tomaron tres espectros de reflectancia sobre la zona central de la placa de Petri, con una rotación de la muestra aproximadamente de 120° entre las adquisiciones espectrales posteriores. Los tres espectros se promediaron para obtener un espectro por muestra.

Para el desarrollo de los modelos se aplicó la técnica estadística multivariable de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR).



Figura 1. Placa Petri con la muestra de suelo comprimida y con una superficie lisa

Como método de pre-procesamiento se utilizó la corrección de señal multiplicativa (MSC), 1ra derivada de Savitzky-Golay, suavizado medio, centrado medio. La fiabilidad de los modelos se determinó mediante el coeficiente de determinación R^2 , con el empleo de la escala propuesta por Malley *et al.* (2004), donde $R^2 > 0,95$ (Excelente), $0,90 \leq R^2 \leq 0,95$ (Muy bien), $0,80 \leq R^2 \leq 0,90$ (Bien), $0,70 \leq R^2 \leq 0,80$ (Regular), $0,70 < R^2$ (Menos fiable).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estadísticos descriptivos de la materia orgánica de las muestras de suelo analizadas para los sets de calibración y validación, se muestran en la Tabla .

En el set de calibración la MO muestra valores en el rango de muy bajo (0,69 %) a mediano (4,59 %), mientras que en los de validación estos van de bajo (2,08 %; 2,62 %) a mediano (3,55 %; 3,44 %) en los dos campos específicos de Conyedo y Albarrán respectivamente. El contenido medio de MO está influenciado por los efectos de los tipos de labores de preparación del suelo e intensidad de cultivo fundamentalmente.

En la Figura 2 se muestra una representación gráfica de la reflectancia espectral de las muestras de suelo, en función del rango de longitud de onda en la región vis-NIR, antes y después de la aplicación del método de pre-procesamiento.

La reflectancia de la luz varió con la longitud de onda en el paisaje edáfico y en cada uno de

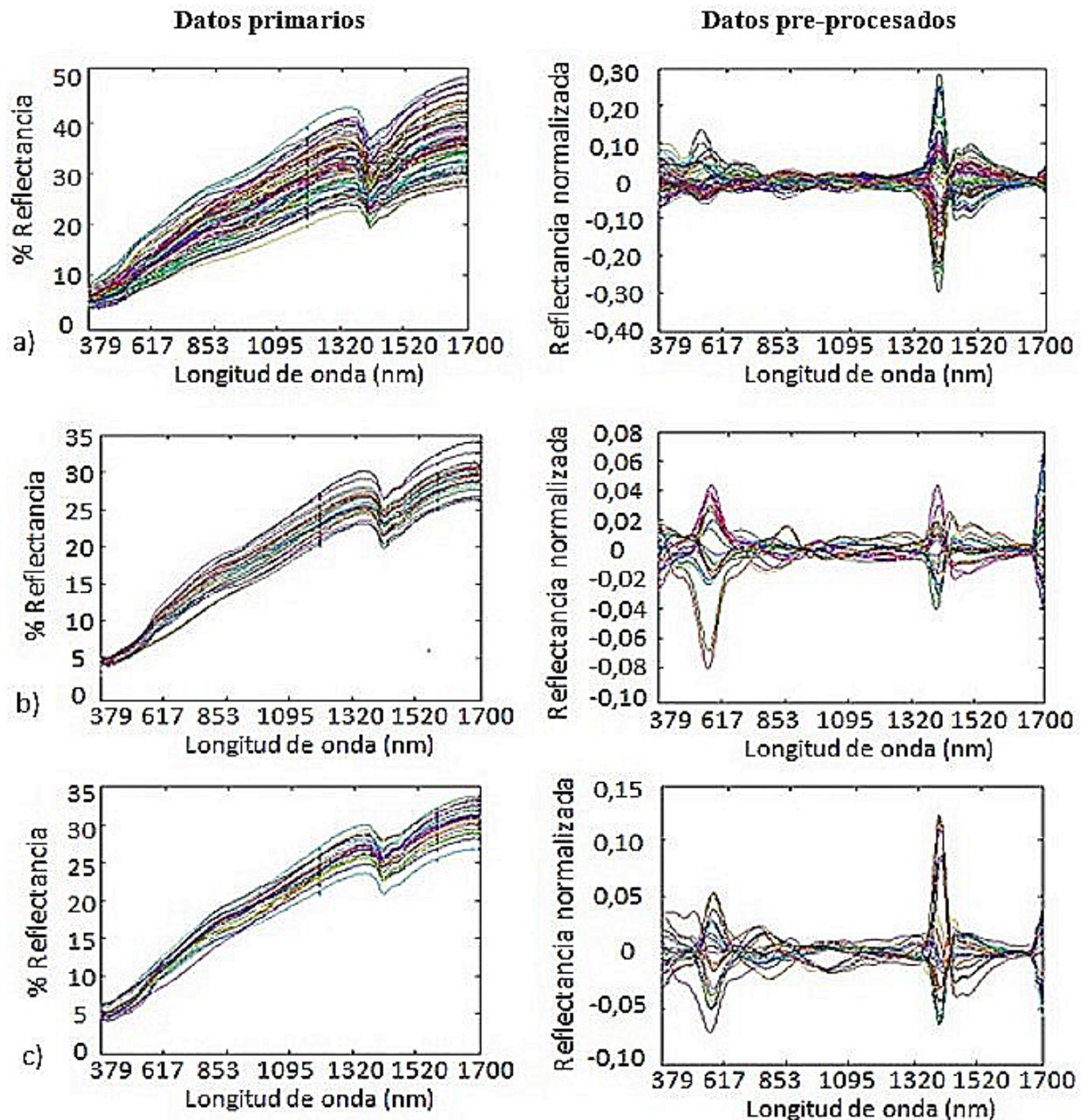
los campos específicos. El patrón de firmas espectrales del suelo para estas áreas muestreadas fue muy similar, mostrando características generales que se pueden distinguir claramente, lo que sugiere que la identificación del tipo de suelo podría lograrse a través de los espectros de reflectancia. En base a lo anterior, la reflectancia espectral se incrementó en la misma medida en que aumentaba la longitud de onda, por lo que en la región visible (379 - 780 nm) la reflectancia fue menor que en la región NIR (780 - 1700 nm). Los máximos valores de reflectancia se observaron en la longitud de onda de 1700 nm en todas las áreas.

Las magnitudes de reflectancia de estas firmas espectrales mostraron que alrededor de la longitud de onda de 1450 nm, los valores de reflectancia disminuyen y, en consecuencia, aumentan nuevamente alrededor de la misma longitud de onda. Este pico de decrecimiento se debe a las bandas de absorción de agua. En coincidencia con este resultado Choudhury *et al.* (2013) reportaron que incluso cuando están secas las muestras de suelo arcilloso contienen bandas de absorción de agua entre los 1400 nm y 1900 nm, dado que estos suelos arcillosos tienen moléculas de agua en su composición química y no todas estas moléculas son eliminadas durante el proceso de secado al aire. Es importante darse cuenta de que los valores de reflectancia obtenidos son valores relativos y, para muestras no fluorescentes, son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra. De esta

Tabla. Media, mínimo, máximo y desviación estándar de la materia orgánica

Materia orgánica del suelo	Media	Mín	Máx	DE	Clasificación
	%				
MOcal	2,21	0,69	4,59	0,70	Muy Bajo - Mediano
MOval1	2,87	2,08	3,55	0,48	Bajo - Mediano
MOval2	2,91	2,62	3,44	0,59	Bajo - Mediano

Leyenda: MOcal- materia orgánica set de calibración: muestras de suelo colectadas en el paisaje edáfico, MOval1- materia orgánica set de validación 1: muestras de suelo colectadas en el campo específico de Conyedo, MOval2- materia orgánica set de validación 2: muestras de suelo colectadas en el campo específico de Albarrán



a) paisaje edáfico; b) campo específico de Conyedo; c) campo específico de Albarrán

Figura 2. Reflectancia espectral de las muestras de suelo antes y después del pre-procesamiento

forma, aunque los factores de reflectancia se midan usando una fuente de luz concreta, es perfectamente correcto calcular los valores colorimétricos para cualquier iluminante conocido.

De acuerdo con Chang *et al.* (2001), los espectros de infrarrojo cercano están dominados por sobretonos débiles (transiciones vibracionales desde el estado fundamental a estados excitados superiores) y combinaciones de bandas vibracionales fundamentales de ciertos grupos funcionales,

principalmente C-H, N-H y O-H. Los espectros están influenciados por la estructura física de los materiales, incluyendo tamaño y forma de partícula, espacio entre ellas, contenido de humedad y presencia de residuos, entre otros factores. La relación entre incremento del contenido de materia orgánica y la disminución de la reflectancia espectral, se observa en suelos con más de 1,5 % de materia orgánica, de esta forma Irons *et al.* (1989) determinaron que un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo causa una

disminución en la reflectancia en todo el espectro. Un alto contenido de materia orgánica y por consiguiente una fuerte disminución de la reflectancia, incluso podría enmascarar otras características de absorción en el espectro de suelo.

La Figura 3 muestra el modelo de calibración donde se observa la dispersión de los valores de materia orgánica estimados mediante la técnica vis-NIR, frente a los valores medidos por el método convencional. Los puntos que representan los datos de las muestras no tienden a tener una dispersión extensa en todo el rango evaluado para este modelo. Lo anterior implica que existe una mayor precisión en la estimación de este parámetro, donde el modelo presentó un ajuste, que se clasifica en la categoría de muy bien ($R^2 = 0,95$), acorde a la escala utilizada en esta investigación. Esta representación gráfica de diagrama de dispersión o nube de puntos resulta muy útil para describir el comportamiento conjunto de estas dos variables (valores medidos y valores estimados), donde cada caso aparece representado como un punto en el plano definido por las variables.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Jarquín-Sánchez *et al.* (2011), cuando

refieren que la ventaja de usar la espectroscopia vis-NIR reside en la gran selectividad de la técnica para cuantificar un elemento químico en una mezcla compleja sin trabajo previo de separación. Además, permite evaluar la cantidad del parámetro en pocos minutos en muestras de diferentes suelos. Los resultados presentados en la literatura también muestran gran variación en la exactitud de predicción de propiedades de suelo por la técnica vis-NIR. Entre los factores que pudieran resultar en la obtención de diferentes resultados entre los estudios se mencionan la procedencia de las muestras (López *et al.*, 1981), dado que pueden proceder de diferentes regiones geográficas y agroecológicas, la preparación de las muestras, fundamentalmente el tamaño de partícula, y los procedimientos de calibración (Nduwamungu *et al.*, 2009).

La Figura 4 muestra los modelos de validación, donde se observa la dispersión de los mejores valores de materia orgánica del suelo estimados por la técnica vis-NIR, frente a los valores medidos por el método convencional.

Para el contenido de materia orgánica los puntos que representan los datos se agruparon estrechamente en torno a la línea de tendencia,

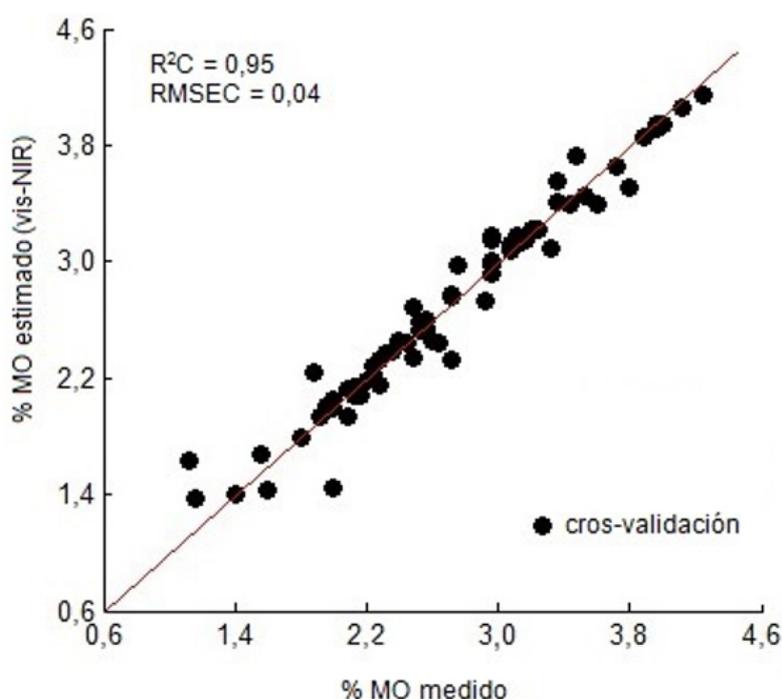
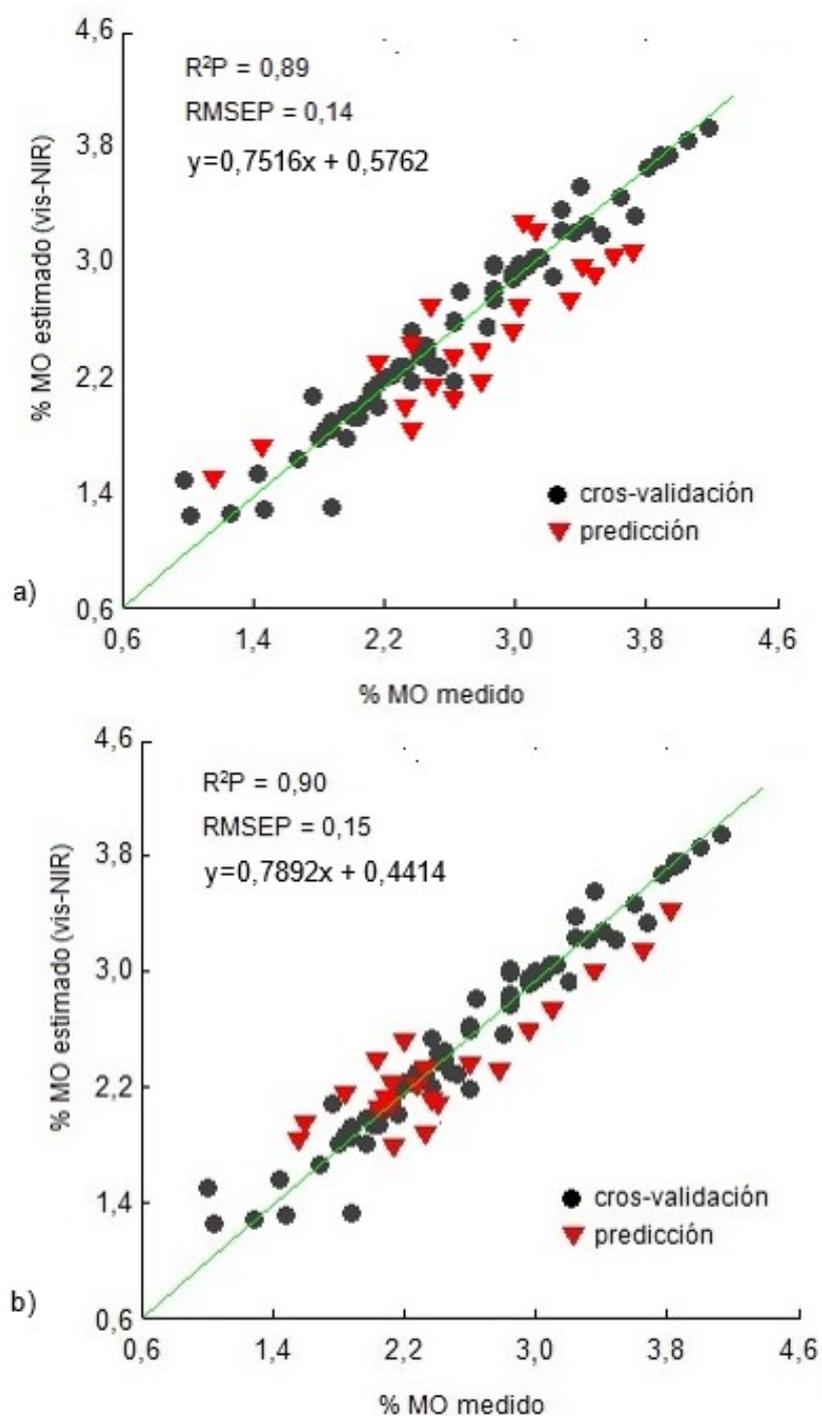


Figura 3. Modelo de calibración vis-NIR para la materia orgánica evaluada en el paisaje edáfico



a) campo específico de Conyedo; b) campo específico de Albarrán

Figura 4. Modelos de validación: correlación entre los valores de materia orgánica del suelo medidos por el método convencional y los estimados por espectroscopia vis-NIR

tanto en la calibración como en la predicción, en ambos campos específicos. En la validación cruzada, el mejor coeficiente de predicción (R^2) se obtuvo para las muestras colectadas en el área de Albarrán ($R^2=0,90$), mientras que para las de Conyedo este coeficiente fue de 0,89, cuando se aplicó el análisis de regresión PLS.

De acuerdo a los criterios utilizados estos modelos se clasifican en el rango de Muy Bien y Bien para las muestras de suelo de Albarrán y Conyedo respectivamente. Estos resultados indican que es posible obtener la predicción del mismo en nuevas muestras de basada en los espectros vis-NIR, precisión y confiabilidad.

Los resultados se corresponden con los reportados por Chacón-Iznaga *et al.* (2014) que, al evaluar diferentes propiedades de suelo en diferentes áreas destinadas al cultivo de caña de azúcar, obtuvo los mejores resultados de predicción para materia orgánica ($0,89 \leq R^2 \leq 0,92$). También fueron muy similares a los obtenidos por He *et al.* (2007). Estos autores lograron buenas predicciones cuando aplicaron el modelo PLS ($R^2=0,93$). Por otra parte no coinciden con los obtenidos por Rodríguez-Cabrera (2015), que para el contenido de MO obtuvo un coeficiente R^2 de 0,66. De igual forma, en el estudio realizado por Xu *et al.* (2019) las estadísticas de validación indicaron que las calibraciones vis-NIR para materia orgánica estaban en el rango de Bien ($R^2 = 0,89$ y $R^2 = 0,87$). Por otra parte, los resultados están en línea con lo reportado por Stenberg *et al.* (2010), cuando refieren que la materia orgánica es uno de los componentes fundamentales del suelo que tiene características de absorción bien reconocibles en la región vis-NIR. Las vibraciones fundamentales de las moléculas orgánicas corresponden a la región del infrarrojo medio (IR medio), mientras que sus sobretonos y combinaciones de bandas vibracionales se pueden observar en la región vis-NIR.

CONCLUSIONES

Las lecturas de reflectancia espectral variaron con la longitud de onda y hubo un incremento de la misma desde la región visible (379 - 780 nm), a la del infrarrojo cercano (780 - 1700 nm). La precisión del modelo de calibración vis-NIR obtenido en el paisaje edáfico, se evaluó de bien, R^2 de 0,89, y de muy bien, R^2 de 0,90 cuando se validó en los campos específicos de Conyedo y Albarrán respectivamente, determinados sobre un suelo Pardo mullido medianamente lavado, lo que confirma es posible estimar el contenido de materia orgánica del suelo con el uso de la técnica de espectroscopia de reflectancia en el visible e infrarrojo cercano (vis-NIR).

CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Diana González-Aguilar: Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la

investigación. Interpretación de los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito.

Ariany Colás-Sánchez: Desarrolló y diseñó las metodologías seguidas en la ejecución del experimento; participó en la creación de los modelos utilizados. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo.

Oralia Rodríguez-López: Responsable de la conservación de los datos y anotaciones tomadas en el transcurso de la investigación.

Delia Luisa Álvarez-Vázquez: Contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos.

Sirley Gattorno-Muñoz: contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

Ahmed Chacón-Iznaga: fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial. Tuvo la responsabilidad de supervisar y liderar la planificación y ejecución de las actividades de investigación, incluida la tutoría al equipo responsable de tomar los datos experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

ARANYOS, J.T., TOMÓCSIK, A., MAKÁDI, M., *et al.* 2016. Changes in physical properties of sandy soil after long-term compost treatment. *International Agrophysics*, 30 (3): 269-274.

AWE, G.O., REICHERT, J.M., TIMM, L.C. and WENDROTH, O.O. 2015. Temporal processes of soil water status in a sugarcane field under residue management. *Plant and soil*, 387 (1-2): 395-411.

CHACÓN-IZNAGA, A., RODRÍGUEZ-OROZCO, M., AGUILA-ALCANTARA, E.,

- et al.* 2014. Vis/NIR spectroscopic measurement of selected soil fertility parameters of Cuban agricultural Cambisols. *Biosystems engineering*, 125: 105-121.
- CHANG, C.W., LAIRD, D.A., MAUSBACH, M.J. and HURBURGH, C.R. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65 (2): 480-490.
- CHOUDHURY, S. 2013. An introduction to geographic information technology. IK International Pvt Ltd.
- CONFORTI, R., DE LEONI, M., LA ROSA, M., *et al.* 2015. A recommendation system for predicting risks across multiple business process instances. *Decision Support Systems*, 69: 1-19.
- DE SOUZA, M. F., JUNQUEIRA FRANCO, H. C. and RIOS DO AMARAL, L. 2020. Estimation of soil phosphorus availability via visible and near-infrared spectroscopy. *Scientia Agricola*, 77 (5).
- GAJDA, A.M., CZYŻ, E.A. y DEXTER, A.R. 2016. Effects of long-term use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *International Agrophysics*, 30 (2): 165-172.
- HE, Y., HUANG, M., GARCÍA, A., *et al.* 2007. Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58 (2): 144-153.
- HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, J., BOSCH, D. y CASTRO, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p.
- IRONS, J. R., WEISMILLER, R. A. and PETERSEN, G. W. 1989. Soil reflectance. In: Asrar, G., *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Wiley, New York: 66-106.
- JARQUÍN-SÁNCHEZ, A., SALGADO-GARCÍA, S., PALMA-LÓPEZ, D.J., *et al.* 2011. Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopía de infrarojo cercano (NIRS) y quimiometría. *Agrociencia*, 45 (6): 653-662.
- LÓPEZ, G., FUENTES, E. y VÁZQUEZ, H. 1981. Resumen sobre los elementos fundamentales que deben ser redactados en cada epígrafe del informe de suelos por municipio a escala 1/25000. MINAG, Departamento de Suelos y Agroquímica, Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, La Habana, Cuba.
- MALLEY, D.F., MARTIN, P.D. y BEN-DOR, E. 2004. Application in analysis of soils. *Near-infrared spectroscopy in agriculture*: 729-784.
- NDUWAMUNGU, C., ZIADI, N., TREMBLAY, G.F. and PARENT, L.E. 2009. Near-infrared reflectance spectroscopy prediction of soil properties: Effects of sample cups and preparation. *Soil Science Society of America Journal*, 73(6): 1896-1903.
- RODRÍGUEZ-CABRERA, J. 2015. Determinación de propiedades químicas de suelos pardos mullidos medianamente lavados mediante espectroscopía de reflectancia VIS/NIR. Tesis de Maestría, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 74 p.
- SHI, Z., JI, W., VISCARRA ROSSEL, R.A., *et al.* 2015. Prediction of soil organic matter using a spatially constrained local partial least squares regression and the Chinese vis-NIR spectral library. *European Journal of Soil Science*, 66 (4): 679-687.
- 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: 163-215.

WALKLEY, A. and BLACK, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soils science*, 37(1): 29-38.

XU, Z., ZHAO, X., GUO, X., and GUO, J. 2019. Deep Learning Application for Predicting Soil Organic Matter Content by VIS-NIR Spectroscopy. *Computational Intelligence and Neuroscience*.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.