

ARTICULOS GENERALES

Determinación VIS/NIR del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas Pardos mullidos medianamente lavados VIS/NIR determination of the organic matter content in agricultural Cambisol soils

Josiel Rodríguez Cabrera¹, Andy W Cortiza Mora¹, Carlos A Pereira Marín¹, Ahmed Chacón Iznaga¹, Sirley Gattorno Muñoz², Oralia Rodríguez López², Alianny Rodríguez Urrutia², Rafael Jiménez Carrazana², Pedro Nemesio Torres Artilés².

¹Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP: 54830.

²Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

E-mail: jrcabrera@uclv.edu.cu

RESUMEN. Con el objetivo de determinar el contenido de materia orgánica de un suelo Pardo mullido medianamente lavado, a través de la técnica de espectroscopia VIS/NIR, se desarrolló un muestreo en áreas de la Estación Experimental “Álvaro Barba Machado”, ubicada en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Se aplicaron métodos de análisis químico convencional y uso un espectrofotómetro portátil en el rango del visible (379 – 780 nm) e infrarrojo cercano (780 - 1702 nm). Las dos matrices de datos obtenidas fueron correlacionadas mediante técnicas de análisis estadístico multivariado. Los principales resultados del análisis químico mostraron el bajo porcentaje de materia orgánica que presenta el suelo muestreado. El análisis espectral demostró un cambio de inflexión en los espectros de suelo en el rango 1350 - 1430 nm, debido a la presencia de partículas de agua y otros componentes. El modelo matemático obtenido describe el porcentaje de materia orgánica a partir de la combinación lineal entre los porcentajes de reflectancia en cada una de las longitudes de ondas.

Palabras clave: espectroscopia VIS/NIR, materia orgánica, reflectancia

ABSTRACT. Soil samples were collected and analyzed using the VIS/NIR spectroscopy technique to determine the organic matter content of a Cambisol at the “Alvaro Barba Machado” agricultural experimental station, located on the campus of the University “Marta Abreu” of Las Villas. Traditional chemical analysis methods were applied, and a portable spectrophotometer was used in the visible (379-780 nm) and near infrared (780-1702 nm) ranges. Both datasets obtained were correlated by using multivariate statistical analysis techniques. The chemical analysis results showed there was a low percentage of organic matter content in the sampled soil. Spectral analysis showed a peak in the soil spectra around 1350 - 1430 nm range, due to the presence of water particles and other components. The mathematical model obtained describes the organic matter percentage from the linear combination of the reflectance percentage for each wavelength, where dependence was significant by 88%.

Key words: VIS/NIR spectroscopy, organic matter, reflectance

INTRODUCCIÓN

La presencia de los problemas ambientales en el archipiélago cubano pueden enumerarse por su magnitud e importancia y están dados por la degradación de los suelos, la deforestación, la contaminación de las aguas así como el deterioro de la higiene ambiental.

Una de las vías para restablecer los suelos degradados lo constituye el suministro de materia

orgánica (MO), la cual representa la principal reserva de carbono de la biosfera y constituye la principal fuente de carbono y nitrógeno en los ecosistemas terrestres, de su conservación depende en gran medida la vida del planeta (Primavesi, 1990).

La materia orgánica es considerada el indicador por excelencia para medir la sustentabilidad de los agroecosistemas, de ella depende en gran medida una

buena estabilidad hídrica de los agregados y por tanto una construcción adecuada del sistema suelo. La materia orgánica de los suelos es toda la biomasa viva, los residuos orgánicos de plantas, animales y microorganismos, así como los productos de su metabolismo. Es importante que las sustancias orgánicas específicas se formen en el suelo como productos finales del proceso de transformación y descomposición de los materiales originales. A esas últimas sustancias se les denomina humus del suelo y es la fracción que le confiere estabilidad a su fertilidad y demás propiedades físicas, químicas, biológicas y a los rendimientos de los cultivos en un ciclo relativamente largo (Orellana, 2001).

Partiendo de lo anterior, se hace necesario determinar el contenido de materia orgánica que presentan los suelos Pardos mullidos medianamente lavados (Hernández *et al.*, 2005). La mayoría de los métodos utilizados como: el método de Walkley-Black (Walkley y Black, 1934), el método de calcinación (Molina, 2006) y el método de oxidación por peróxido de hidrogeno (Molina, 2006) son los más utilizados y recomendados por la mayoría de los especialistas en el mundo aunque se basan en su determinación indirecta.

La espectroscopia en el visible (VIS) e infrarrojo cercano (NIR, siglas en inglés) es una técnica que muestra muchas posibilidades en el campo de las pruebas para determinar las propiedades químicas y físicas de los materiales. El suelo y los productos agrícolas no son excluidos de esta aplicación. Las técnicas de VIS/NIR son rápidas, prácticas, sencillas, precisas y no destructivas (Chang *et al.*, 2001; McCarty *et al.*, 2002; Viscarra, 2006; Nduwamungu, 2009; Volkan, 2010; Stenberg, 2010).

Según Stenberg, (2010) el visible e infrarrojo cercano VIS/NIR se convirtió recientemente en una técnica probada como método alternativo rápido, barato y relativamente preciso de los análisis de laboratorio de las propiedades del suelo. Hoy en día, numerosas investigaciones se llevan a cabo para establecer nuevos enfoques, mejorar los métodos existentes y combinar varias técnicas de modelado para mejorar la precisión de la calibración de la espectroscopia VIS/NIR. Por ello, debido a lo antes expuesto, esta investigación tiene como

objetivo determinar el contenido de MO en muestras colectadas de un suelo Pardo mullido medianamente lavado, para su correlación con las respuestas espectrales en los rangos visible (379 – 780 nm) e infrarrojo cercano (780 – 2500 nm).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelo Pardo mullido medianamente lavados se colectaron en un área de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV) ubicada a 22° ,26' y 13,20" latitud Norte y 79° ,54' y 23" longitud Oeste. Este suelo es de perfil A (B) C, de evolución sialítica, rico en carbonato de calcio, donde existe un predominio de minerales arcillosos del tipo 2:1, principalmente en montmorillonita (Cairo y Fundora, 2005).

Para el análisis fueron colectadas 121 muestras de suelo en 1 ha a 20 cm de profundidad. Se cuadrículó el terreno mediante cordeles y estacas de madera, para poder extraer de forma uniforme las muestras por el método de la grilla. Las muestras después de envasadas en bolsas de nylon con una capacidad de 1 kg, se trasladaron hacia el local donde fueron sometidas a secado al aire libre; en consecución fueron llevadas al Centro de Investigación Agrícola (CIAP), se les aplicó un proceso de molido y tamizado a 0,5 mm. Para determinar el contenido de materia orgánica se utilizó el método Walkley-Black (Walkley y Black, 1934).

Proceso de obtención de los datos espectrales

Los VIS/NIR de reflectancia espectral fueron adquiridos con un espectrofotómetro de red de diodos (corona plus distancia VIS/NIR Zeiss, Jena, Alemania) y un OMK500-H cabezal de medición conectado a un haz de fibra óptica (figura 1). Todos los espectros se obtuvieron utilizando los mismos ajustes del instrumento: medida en el modo de reflexión, longitud de onda 379-1702 nm. Los tiempos de integración fueron: para el VIS (143,5 ms) y los NIR (200 ms).

Se extrajo una pequeña muestra de suelo (12 g) y luego, después de colocarla en una placa Petri de 10 mm de profundidad y 35 mm de diámetro, se presionó y estabilizó cuidadosamente la misma para obtener una superficie lisa, con el propósito de

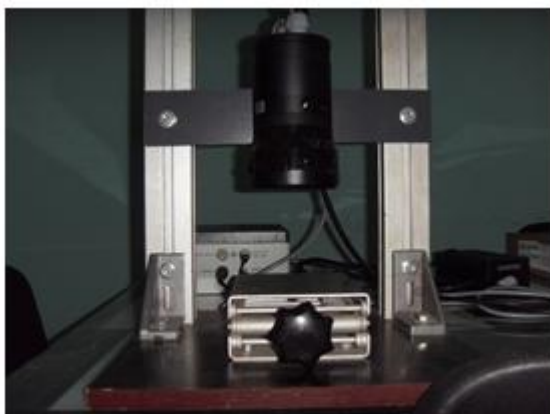


Figura 1. Espectrofotómetro de red de diodos (corona plus distancia VIS/NIR Zeiss, Jena, Alemania) y un OMK500-H cabezal de medición conectado a un haz de fibra óptica

reducir la variación debida a la empaquetadura del suelo. Cada placa Petri se colocó debajo del sensor en el centro del punto de coordinación. Consecutivamente se tomaron tres espectros de reflectancia sobre la zona central de la placa Petri, a una rotación de la muestra aproximadamente de 120° entre las adquisiciones espectrales posteriores. Los tres espectros de cada muestra de suelo se promediaron para obtener un espectro promedio por muestra que se guardó como archivo individual (.csv), importándose al Excel para su posterior análisis.

Procesamiento estadístico de las muestras

Se partió del análisis de la distribución de frecuencia de los datos correspondientes a la variable MO y sus respectivos estadígrafos descriptivos. Para analizar las correlaciones o dependencias entre la MO y los diferentes valores de reflectancia se seleccionaron 120 valores de un total de 428, en el rango de longitud de onda entre 379-1702 nm. El rango fue dividido en 120 intervalos de clase, teniendo en cuenta que las diferentes longitudes de ondas presentan cambios muy pequeños. Además, la correlación de la materia orgánica con el porcentaje de reflectancia se analizó para cada valor de clase según los respectivos intervalos establecidos, a partir de un análisis de regresión multidimensional de la forma:

$$y = a + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

donde:

- a: constante de la estimación
- n: es la cantidad de longitudes de ondas
- x_1, x_2, \dots, x_n : cada x_i corresponde a un intervalo de longitudes de onda i ($i=1, \dots, n$) ($n=428$)
- a_1, a_2, \dots, a_n : cada a_i es el porcentaje de reflectancia en la longitud de onda i ($i=1, \dots, n$)

Para realizar estos procesamientos estadísticos se utilizó el software STATGRAPHICS PLUS versión 5.1 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis químico de la materia orgánica

El estudio de la variable “Materia orgánica” permite realizar un análisis del comportamiento de la distribución de frecuencia de los valores a partir del histograma de frecuencias absolutas, su función de densidad, los valores descriptivos de tendencia central y de dispersión, así como del análisis de la normalidad de estos valores.

Como se observa en el Figura 2, existe un comportamiento asimétrico de los valores, donde se resalta una concentración de la mayor cantidad de valores hacia la izquierda del intervalo resultante de las mediciones. Esta característica se puede confirmar a partir del resumen descriptivo, en el cual se observa al valor uno como moda y alrededor de este, se concentran la mayor cantidad de valores de la variable.

Resumen Estadístico para Materia Orgánica

Media = 1,64093
 Mediana = 1,47
 Moda = 1,0
 Varianza = 0,577035
 Desviación típica = 0,759628
 Mínimo = 0,573
 Máximo = 3,78
 Rango = 3,207
 Asimetría tipi, = 4,63162
 Curtosis = 0,276493
 Curtosis típificada = 0,620827
 Coef, de variación = 46,2924%

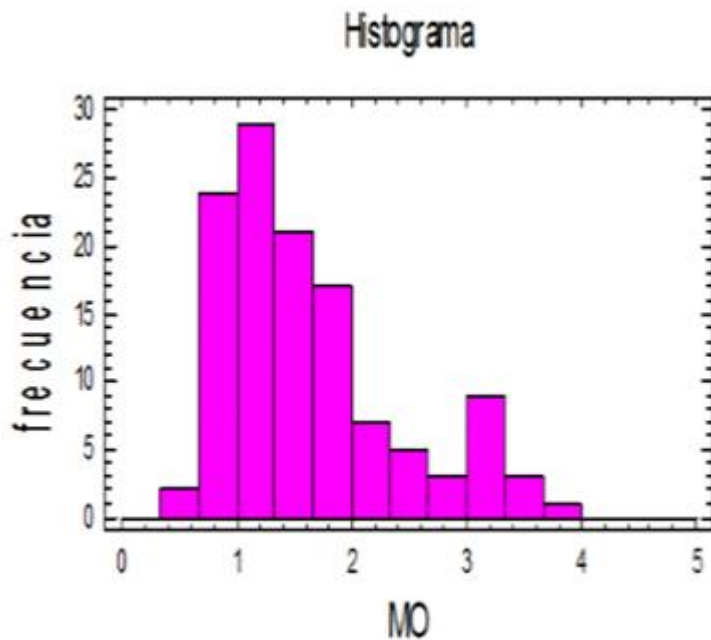


Figura 2. Histograma de frecuencias absolutas de la materia orgánica

En estos resultados se observa que existe un bajo contenido de materia orgánica en el suelo (promedio de 1,5 %), con la excepción de 13 muestras que presentan un contenido medio (3,3 %) lo que representa el 10,7 % del suelo analizado.

El campo fue dividido para realizar la recolección de las muestras de suelo, apreciar la distribución de los porcentajes de materia orgánica presente en el campo y mostrar claramente que existe un bajo contenido de MO (figura 3). Las muestras de las 81 – 87; 89 y 11 se ubican en el rango de 3- 4 % de MO, debido a la existencia de irregularidades en estas partes del terreno porque se han ido incorporando al suelo desechos de plantas en descomposición, además de los arrastres por causa de las precipitaciones. En los casos de las muestras 114-116 y 121, se debe a que a la hora de cuadricular el terreno estos puntos cayeron fuera del terreno que se cultiva, por lo que es mayor el porcentaje de materia orgánica en las mismas.

El bajo contenido de MO en esta área puede ser debido al efecto de las prácticas agrícolas, la aplicación de fertilizantes y el laboreo del suelo, lo que provoca el deterioro de la estructura del suelo. Comportamientos similares fueron observados por Chacón (2014) al evaluar un grupo de suelos de la costa norte villaclareña, donde en dos intervalos de ocho muestras, la MO se clasificó como baja y al

evaluar el coeficiente de asimetría, este fue positivo (0,08), equivalente a los valores obtenidos en esta investigación; mientras que el coeficiente de Curtosis fue negativo (-1,67) lo que indica una distribución relativamente plana, diferenciación que se evidencia en el presente estudio.

La función de densidad para la variable en cuestión (figura 4) se percibe como la curva superior presenta una ligera asimetría hacia la izquierda, lo que destaca la curtosis positiva y confirma el análisis de la normalidad al resultar el valor P del estadístico chi-cuadrado igual a 0,00000.

Análisis de la reflectancia. Relación de dependencia con la MO

Las longitudes de ondas contra el porcentaje de reflectancia (figura 5) mostraron que no hubo cambios significativos entre las muestras analizadas. El porcentaje de reflectancia en función del rango de longitud de onda para un total de 62 muestras superpuestas de las 121 tomadas en el campo (figura 6) muestra que se presenta un leve pico en el rango de 1407- 1427nm. Pico dado por la presencia de agua y otros compuestos.

El porcentaje de reflectancia tiende a aumentar a medida que aumenta las longitudes de ondas hasta el rango de 1350- 1430 nm donde ese comportamiento cambia su punto de inflexión. Según la Peguero (2010) estos picos dentro de los rangos 1350- 1430 nm aproximadamente, suceden por la presencia de partículas de agua.

Al realizar el análisis de regresión polinomial sobre la correlación entre la materia orgánica y el porcentaje de reflectancia, se estima que existe una significativa dependencia de las mismas entre sí, a partir de la regresión múltiple (tabla 1 y 2).

La ecuación de ajuste resultante del análisis explica de forma detallada el fenómeno estudiado en un 88 % de la varianza, según el R^2 .

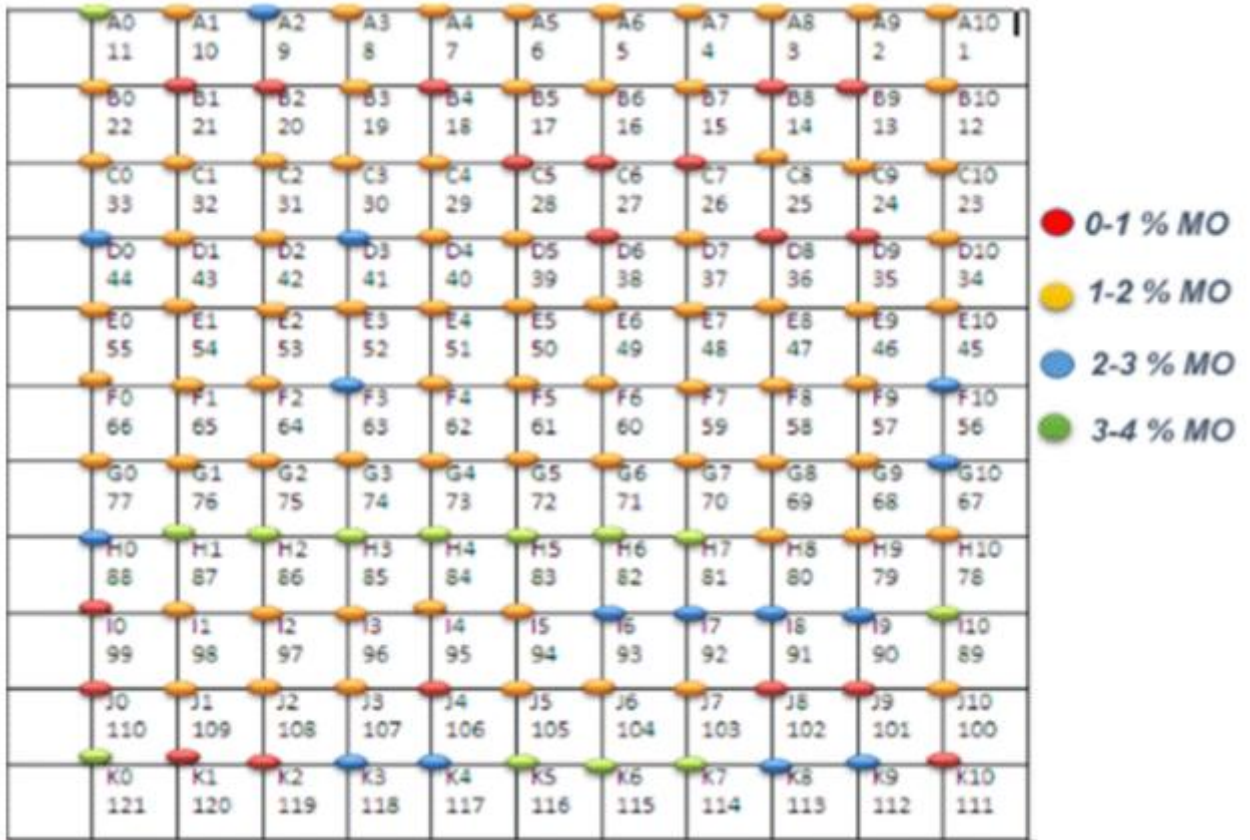


Figura 3. Representatividad espacial de los diferentes rangos de materia orgánica en el campo 1C de Las Antillas

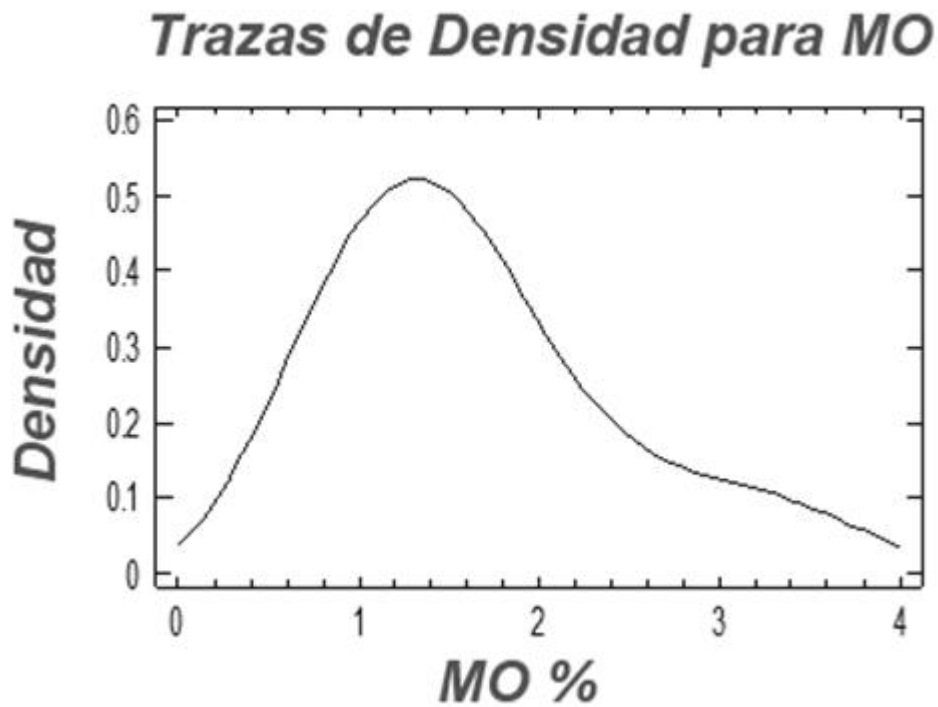


Figura 4. Curva de densidad de la distribución de la variable materia orgánica

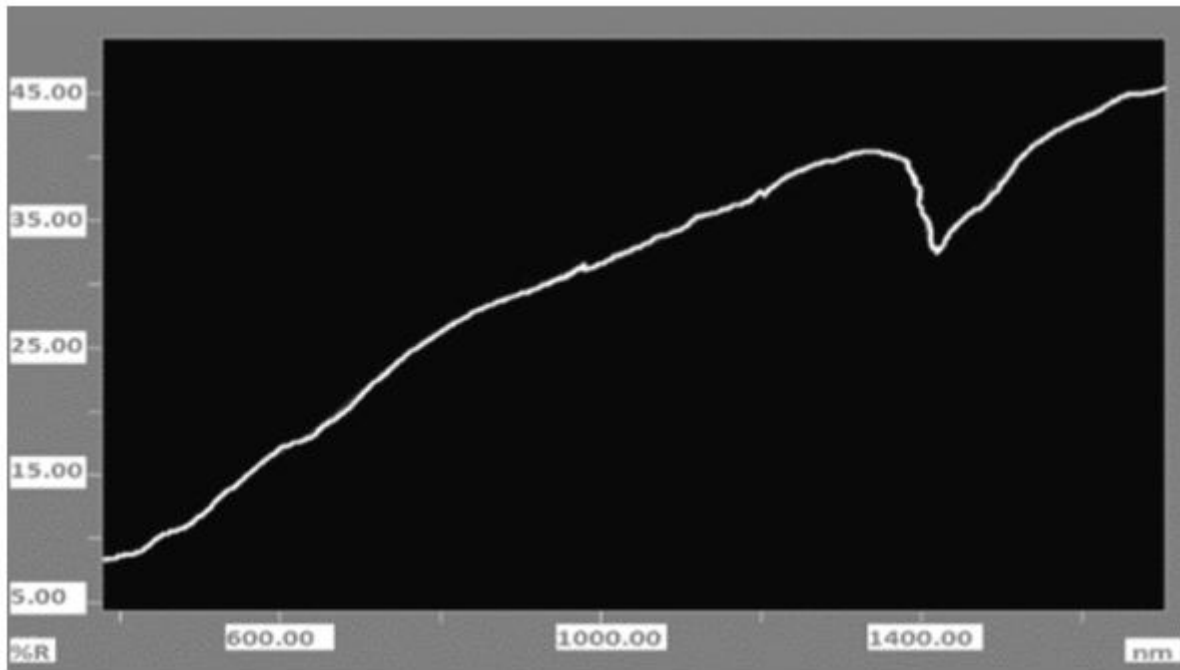


Figura 5. Imagen de las mediciones con el espectrofotómetro

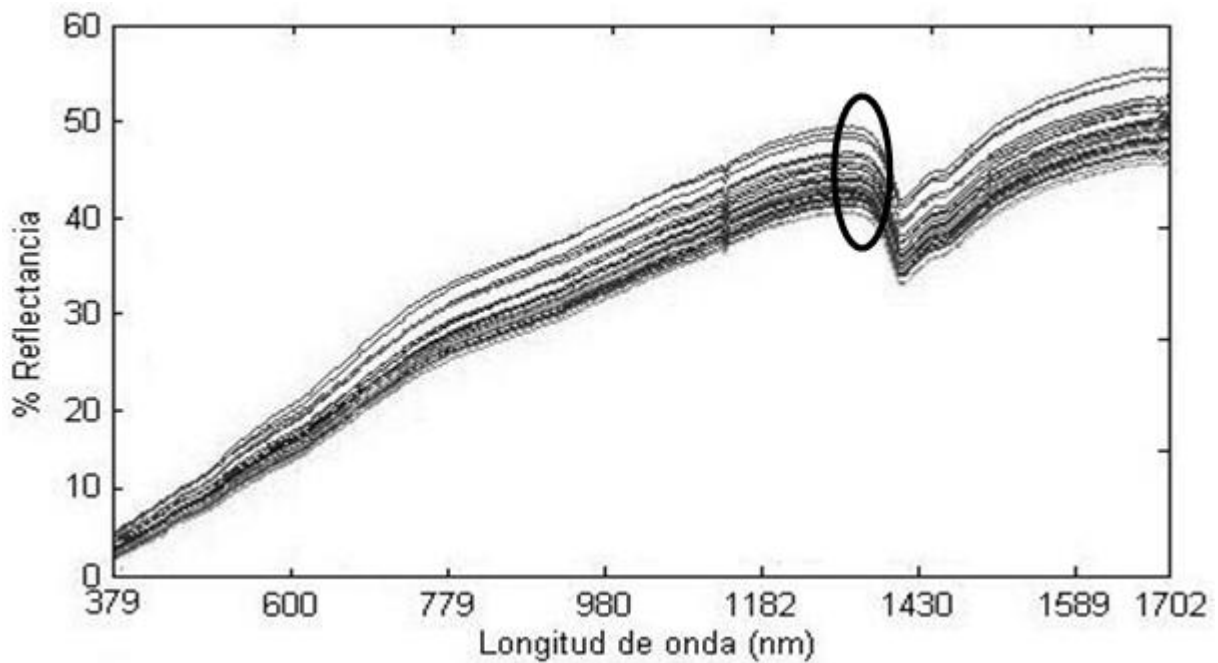


Figura 6. Superposición de 62 muestras analizadas que fueron tomadas aleatoriamente

Tabla 1. Datos del análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Coficiente-F	Valor P
Modelo	61,16	68	0,90	5,78	0,0000
Residuo	8,09	52	0,16		
Total (Corr.)	69,24	120			

Tabla 2. Datos estadísticos de la correlación

R²	88,3199
R ² (ajustado para grados de libertad)	73,05 %
Error estándar	0,39
Error absoluto medio	0,17
Estadístico de Durbin-Watson	1,53 (P=0,005)
Autocorrelación residual en Lag 1	0,23

$$MO = 2,68674 + 4,8417 * X_{15} - 10,3418579 - 5,60931 * X_{28} - 1,29944 * X_{133} + 0,431788 * X_{300} + 1,30177 * X_{315} - 2,15849 * X_{330} - 3,68964 * X_{334} + 1,79114 * X_{338} + 3,38337 * X_{341} + 2,51527 * X_{345} - 3,54001 * X_{348} - 4,80815 * X_{352} + 0,450399 * X_{359} - 86136 * X_{363} - 0,485197 * X_{407} - 2,55929 * X_{416} + 0,520723 * X_{418} - 0,836176 * X_{420}$$

No todas las longitudes de ondas tuvieron dependencia entre el porcentaje de reflectancia y el de MO ya que el valor P de esta relación resultó mayor que 0,05 de acuerdo al método de regresión aplicado. De interés particular resultó ser el rango de longitud de onda señalado en la figura 6, donde se puede observar cuan significativa es la relación entre estas dos variables, en los cambios de inflexión o variaciones de la curva descrita (tabla 3).

CONCLUSIONES

1. El suelo Pardo mullido medianamente lavado presentó bajos contenidos de MO, con un promedio de 1,5 %.

2. La reflectancia obtenida mediante la espectroscopia VIS/NIR tuvo un comportamiento similar en cada una de las muestras estudiadas con un cambio de inflexión en el rango de 1350- 1430 nm.

3. El modelo obtenido presenta un buen ajuste, pues explica el 88 % de la variabilidad del fenómeno estudiado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cairo, P. y O. Fundora: Edafología Primera y Segunda Parte. Editorial Félix Varela, Ciudad de la Habana, Cuba. 2005, 475 pp.
2. Chacón, A: Vis/NIR spectroscopic measurement of selected fertility parameters of Cuban agricultural soils. PhD, KU Leuven, Belgium. 2014, 189pp.
3. CHANG, C. W; D.A. Laird; M.J. Mausbach; C.R. Hurburgh: Near-infrared reflectance spectroscopy principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 480 - 490, 2001.

Tabla 3. Correlación entre porcentaje de reflectancia y MO en el intervalo de longitud de ondas [1407, 1427]

Longitudes de onda	Promedio del Porcentaje de Reflectancia	Coficiente Pearson	Significancia
1407,30	36,322	-0,2608	0,0196
1410,14	34,44	-0,2120	0,0191
1412,97	35,47	-0,2129	0,0039
1415,80	35,18	-0,2569	0,0044
1418,62	34,76	-0,1923	0,0006
1421,44	35,60	-0,3084	0,0346
1424,26	35,95	-0,2274	0,0121
1427,07	35,65	-0,1279	0,1622

4. Hernández, J. A.; M.O. Ascanio; M. Morales; A. Cabrera: Correlación de la nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales: Una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. Instituto de Suelos. MINAGRI. La Habana, Cuba. 2005, 62 pp.
5. Molina, J. A. La Materia Orgánica del Suelo. 2006. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos87/materia-organica-del-suelo/materia-organica-del-suelo.shtml> consultado el 12 de enero de 2015.
6. Mccarty, G.W.R., J. B; Reeves, V. B; Follett, R.F; Kimble, J. M: Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurement. *Soil Science Society of America Journal*, 662: 640 – 646, 2002.
7. Nduwamungu, C.: Near-infrared reflectance spectroscopy prediction of soil properties: Effects of sample cups and preparation. *Soil Science Society of America Journal*, 73:1896-1903, 2009.
8. Orellana, R.: La conservación del suelo, requisito fundamental para mantener la diversidad de plantas cultivadas. Agricultura Orgánica I. 2001. Disponible en http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202001-1/09-ConservacionSuelos.pdf consultado el 12 de enero de 2015.
9. Peguero, A.: La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados., Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España. 2010, 252 p.
10. Primavesi, A.: Manejo ecológico do solo. A agricultura em regiões tropicais. Sao Paulo, Brasil. 1990. 541 p.
11. Sánchez, V. J. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Conceptos básicos. Parte I. Fertilidad del suelo. *JSV-GG-FT*, 2007. Disponible en <http://www.agronegociosperu.org/downloads/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf> consultado el 12 de enero de 2015.
12. Stenberg, B.: Visible and near infrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy*, 107: 163-215, 2010.
13. Viscarra, R.A.: Visible, near-infrared, mid-infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131: 59-75, 2006.
14. Volkan, A.: Visible near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey. *Journal of Arid Environments*, 74: 229-238, 2010.
15. Walkley, A. y I.A. Black: An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-37, 1934.

Recibido: 13/03/2015

Aceptado: 02/06/2015