

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TRABAJO DE DIPLOMA

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS PARDOS
MULLIDOS MEDIANAMENTE LAVADOS CON EL EMPLEO DE LA TÉCNICA Vis-NIR**

Autor: Javier M. Pérez Castro

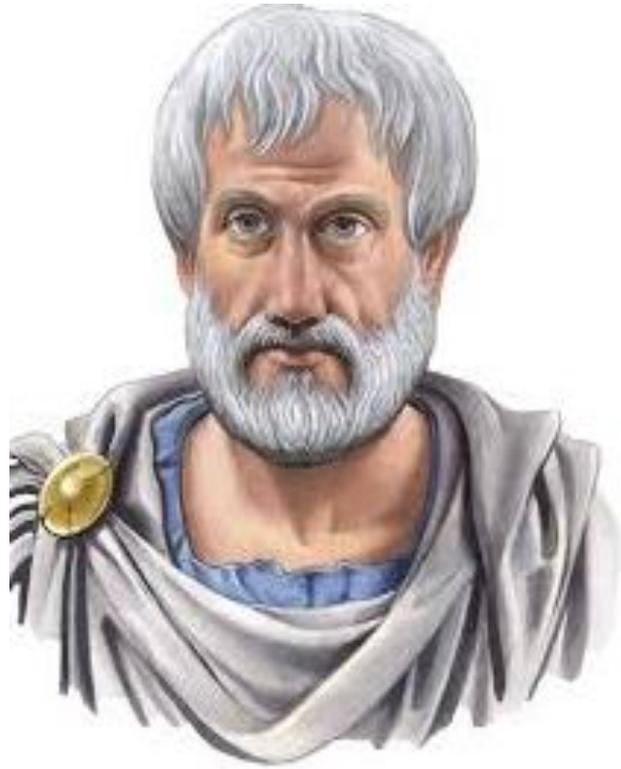
Tutores: Msc. Josiel Rodríguez Cabrera

Dr.C. Ahmed Chacón Iznaga

Santa Clara, Cuba

2016

Pensamiento



La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

DEDICATORIA

A toda mi familia porque todos han aportado algo al ser que soy hoy en día. En especial...

A mi mamá por siempre empujarme y encaminarme por buenos caminos con su dulzura y amor...

A Romelio por apoyarme siempre y ser un padre muy especial para mí...

A Liva por ser mi hermano del alma...

A mi sobrinito Antonio por ser la cosita más linda que existe sobre la Tierra...

A mi Ite por aguantarme, amarme, apoyarme y estar siempre aquí para mí...

A mi abuelita linda por estar siempre a mi lado con su amor incondicional...

A mi tío Severo y mi tía María por darme su apoyo y por el gran ejemplo que siempre me han dado...

A mi tía Luvia y Osmany por ayudarme y apoyarme siempre en todo...

A Diosito por mostrarme siempre la luz en el camino....

AGRADECIMIENTOS

A mis suegros Lidia, Pedro y Rndolfo por su incondicionalidad conmigo y por haberme aceptado como un hijo más en la familia...

A mis tutores Ahmed y Josiel en la realización de este trabajo por su gran ayuda porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible...

A Pedri por permitirme contar con él para lo que fuera...

A Sauce, Daya, Ale, el Rolo, Yosiel por brindarme su amistad y entre todos conformar una parte especial de nuestro grupo...

A Yaimarys por haber estado con nosotros en una etapa especial y brindarnos su amistad...

A Lanyer y Leonardo por ayudarme en la realización de la tesis...

A las compañeras del Laboratorio de Suelo del CIAP por apoyarme y ayudarme en la realización de los resultados de la tesis...

A mis profesores por haberme enseñado y cautivado amor hacia mi profesión...

Y a todos los que de una forma u otra aportaron su granito de arena en la realización de este sueño.

En fin, a todos GRACIAS...

RESUMEN

La calidad de un suelo y su capacidad para desarrollar una serie de funciones puede verse afectada negativamente por la pérdida de materia orgánica, afectando también la salud de las plantas. De ahí que el presente trabajo tiene como objetivo determinar el contenido de materia orgánica en los suelos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú para su correlación con las respuestas espectrales en los rangos ultravioleta visibles e infrarrojo cercano (Vis-NIR). Se realizó un muestreo por el método aleatorio en la etapa comprendida entre los meses de septiembre y diciembre del 2015. Para la calibración se recogieron un total de 89 muestras de la UBPC-3 Jesús Menéndez, UEB Pirey y UEB Pararrayo y para la validación se tomaron 40 muestras de la UEB de Albarrán. Las muestras fueron analizadas químicamente por el método de Walkley-Black. Como resultados principales se obtuvieron los histogramas de distribución de frecuencias de la materia orgánica para la calibración y validación, donde se mostró en ambos casos un máximo que indica la estimación de mediano según los indicadores de clasificación de la materia orgánica. Se observaron las más altas correlaciones significativas positivas con coeficientes de 0,68. Mientras que se obtuvo una predicción de la materia orgánica Vis/NIR menos fiable con valor de 0,47. Para el análisis estadístico de las muestras se utilizó el software MATLAB 7.9 (R2009b), el cual es una herramienta integral de análisis de datos para Estadística Exploratoria.

ABSTRACT

The quality of soil and its ability to develop a number of functions can be adversely affected by the loss of organic matter, affecting the health of plants. Hence this study aims to determine the content of organic matter in soils Agropecuaria Valle del Yabu for correlation with the spectral response in the visible and ultraviolet ranges near infrared (Vis-NIR). We sampled by the random method in the period between the months of September and December 2015. For the calibration a total of 89 samples UBPCs-3 Jesus Menendez, UEB Pirey and UEB Pararrayo collected was performed and for validation they took 40 samples of the UEB Albarran. The samples were chemically analyzed by the method of Walkley-Black. The main results histograms frequency distribution of organic matter for the calibration and validation, where in both cases showed a maximum estimation indicating medium according indicators classification of organic matter were obtained. the highest positive significant correlations with coefficients of 0.68 were observed. While a less reliable prediction of organic matter Vis / NIR value of 0.47 was obtained. For the statistical analysis of samples MATLAB 7.9 (R2009b) software was used, which is an integral tool for data analysis Exploratory Statistics.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.1 Fertilidad del suelo	5
1.2 Materia orgánica del suelo.....	6
1.3 Función e importancia de la Materia Orgánica en el suelo.....	10
1.4 Pérdida de Materia Orgánica en el suelo.....	14
1.5 Métodos químicos para determinar la materia orgánica en el suelo.....	15
1.6 Espectroscopia Vis-NIR.....	16
1.7 Empleo de técnicas espectroscópicas Vis-NIR en análisis de suelo.....	17
1.8 Métodos estadísticos empleados en la medición.....	18
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 Estudio y toma de muestras del suelo analizado	19
2.2 Análisis químico.....	20
2.3 Metodología empleada en el Espectrofotómetro Vis-NIR.....	21
2.4 Proceso de obtención de los datos espectrales.....	22
2.5 Procesamiento estadístico de las muestras.....	23
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. Análisis químico de la materia orgánica por métodos convencionales.....	24
3.2. Distribución de la frecuencia de la materia orgánica.....	25
3.3 Pre procesado de los datos espectrales	26
3.4 Reflectancia espectral de las muestras de MO.....	27
3.5 Predicción Vis-NIR de la materia orgánica.....	29
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Hoy a nivel mundial la agricultura a gran escala requiere de paquetes tecnológicos para el mejoramiento de la productividad del suelo. La explotación del suelo es un eslabón clave en este proceso de desarrollo, donde el hombre lo utiliza como fuente de materias primas en explotaciones agrícolas, ganaderas y forestales, para la construcción tanto de viviendas como de áreas recreativas además de otros usos económicos y de infraestructura. Lo cual implica notables cambios en el Medio Ambiente y a su vez, en la supervivencia humana.

El suelo es la capa de materiales minerales y orgánicos que cubre la superficie terrestre en la cual las plantas se desarrollan donde toman los alimentos necesarios (Jordán, 2006). Cuando el equilibrio natural no es perturbado, los procesos se desarrollan con un ritmo tal, que las remociones y modificaciones se equilibran en términos generales y finalizan con la formación del nuevo suelo, al cual la naturaleza le suministra procesos de defensa contra la erosión y degradación.

El hombre por otro lado cuando comienza a explotar el suelo en su provecho, quita la vegetación protectora y destruye con el laboreo la superficie del terreno, de esta forma, elimina las barreras naturales contra la erosión. Por un lado, el proceso erosivo adquiere velocidad y se torna extremadamente perjudicial; por otro lado, el proceso natural de formación del suelo sigue su lenta evolución (Cropsci, 2012).

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Es necesario contar, con una sólida concepción de la calidad, con indicadores de calidad o salud de la tierra y de manejo sostenible de la misma, para dar seguimiento a variables sociales y económicas (Bautista *et al.*, 2004).

La materia orgánica del suelo es uno de los factores más importantes para determinar su productividad de forma sostenida. Especialmente, en las regiones tropicales, donde las temperaturas elevadas y, en algunas zonas, la

alta humedad aceleren la descomposición, su manejo adecuado es todavía más importante. Además es una propiedad determinante en las funciones físicas, químicas y biológicas, su dinámica es necesaria en la productividad agrícola del sitio específico, siendo determinante en la calidad de un suelo.

Representa una estrategia básica para darle vida al suelo, porque sirve de alimento a todos los organismos que viven en él, particularmente a la microflora responsable de realizar una serie de procesos de gran importancia en la dinámica del suelo, en beneficio del crecimiento de las plantas (Corbella, 2006).

Entre los problemas más graves que enfrenta la agricultura cubana: la degradación de los suelos, la deforestación, la contaminación de las aguas así como el deterioro de la higiene ambiental, está afectado por el 14 por ciento del territorio nacional, lo equivalente a 1 millón 580 mil 996 hectáreas, lo cual compromete seriamente el futuro del país, según Morales (2003). Las pérdidas de materia orgánica en los suelos en este archipiélago, está inducida por la acción del hombre, sobre todo como consecuencia de la introducción de las agro-tecnologías modernas.

Una de las vías para restablecerlo lo constituye el suministro de materia orgánica, la cual representa la principal reserva de carbono y nitrógeno en los ecosistemas terrestres, de su conservación depende en gran medida la vida del planeta. A pesar de este conocimiento, se han determinado cuales son las prácticas de manejo agronómico que permitirían restablecer, mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo.

Para ello, se ha enfatizado que se debe realizar un aumento en la utilización de materiales orgánicos como desechos de animales, residuos vegetales y/o rotaciones dentro de un sitio específico para aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos.

Asumiendo que la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú es la principal fuente de alimentos de la provincia de Villa Clara, en el transcurso de los años ha sido influenciada por las prácticas agrícolas como: la utilización de monocultivos sin la incorporación de residuos, el uso de fertilizantes artificiales para compensar el aporte de nutrientes, el uso inadecuado de la maquinaria compactando e

invirtiendo el prisma y el riego excesivo en suelos con pendientes; han producido una fuerte declinación de los niveles de materia orgánica del suelo.

De ahí que la pertinencia de la investigación sea determinar el contenido de materia orgánica que presentan los suelos Pardos mullidos medianamente lavados de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, mediante el método químico de Walkley y Black para su correlación con las respuestas espectrales en los rangos ultravioleta visibles e infrarrojo cercano (Vis-NIR). Una técnica prometedora para agilizar los análisis de materia orgánica en un corto tiempo, con bajo costo, con menos recursos y mayor productividad, lo que permite analizar y tomar decisiones al momento en el manejo de los cultivos agrícolas.

Espectroscopia Vis-NIR es una alternativa para agilizar el análisis en el laboratorio y por lo tanto, aumentar el número de muestras a analizar; además es una herramienta analítica de respuesta rápida, para la determinación de materia orgánica en el suelo (Viscarra *et al.*, 2006) (Volkan *et al.*, 2010) (Stenberg *et al.*, 2010).

En función de determinar un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo, como requisito para obtener rendimientos sostenibles en los distintos cultivos a lo largo del tiempo. La presente investigación propone el siguiente **Problema Científico**:

¿Cómo correlacionar el contenido de materia orgánica en los suelos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú mediante el uso de técnicas espectroscópicas?

Para darle cumplimiento al problema nos planteamos como **Hipótesis**:

La distribución de la materia orgánica obtenida mediante métodos químicos y la técnica de espectroscopia Vis-NIR, permitirá el desarrollo de modelos matemáticos que correlacionen la reflectancia espectral con las propiedades químicas del suelo.

Objeto de estudio:

Materia Orgánica en los suelos Pardos mullidos medianamente lavados.

Objetivo general:

Determinar el contenido de materia orgánica en los suelos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú para su correlación con las respuestas espectrales en los rangos ultravioleta visibles e infrarrojo cercano (Vis-NIR).

Objetivos Específicos:

1. Determinar el contenido de materia orgánica por métodos convencionales en los suelos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.
2. Obtener mediante la técnica de espectroscopia Vis-NIR la variabilidad de los espectros de reflectancia de las muestras de suelo en diferentes longitudes de onda.
3. Correlacionar las propiedades químicas del suelo con las lecturas de reflectancia espectral Vis-NIR en las diferentes longitudes de onda.

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Fertilidad del suelo

Según Morón *et al.* (1996) hay muchos conceptos de suelo dependiendo del ángulo y enfoque que se le da al mismo. Sin embargo, en resumen se puede llegar al siguiente: *“Suelo: Es un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas”*.

Es un ente natural, pues tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad; trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa; dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Además es el medio natural donde crecen las plantas, por tanto sirve como soporte.

Una de sus características principales es la fertilidad, cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo; que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo se puede tener un suelo fértil, y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas, entonces en un suelo fértil no productivo (Cubilla, 2014).

El manejo de la fertilidad del suelo está basado en la adopción de prácticas que permitan potenciar y estimular la diversidad edáfica, un suministro equilibrado de nutrientes para evitar carencias y bloqueos, prácticas de manejo para mejorar la eficiencia de la dinámica del agua evitando su déficit y evitando la posible acumulación de sales y técnicas de gestión de la materia orgánica (Gonzales *et al.*, 2011).

Labrador (2008) plantea que existen una serie de recomendaciones generales para optimizar el manejo de la fertilidad del suelo. Estas son:

- La prioridad de adecuar el sistema de cultivo elegido de acuerdo a la capacidad agroecológica de producción del suelo.

- Los aportes de materia orgánica en forma de estiércol, compost, restos de cosecha, abonos verdes, tienen una función insustituible sobre todos los aspectos ligados a la vida microbiana y la salud vegetal.
- La disminución de la cantidad de abonos minerales, adecuando su aporte a las carencias que pueda presentar el abono orgánico, a estados de reconversión y a períodos críticos de desequilibrio, deficiencias o mayores necesidades del cultivo.
- La utilización de abonos verdes que mejoran la actividad metabólica microbiana por el aporte de materiales ricos en azúcares y en nitrógeno y actúan sobre la movilización biológica de determinados nutrientes difícilmente alcanzables por la mayor parte de los cultivos y además actúan sobre la agregación del suelo.
- El aumento de la diversidad en el aporte orgánico. Una mayor variedad en el aporte de materiales orgánicos, como estiércoles, compost, restos de cosechas y una mayor variedad en el manejo de la diversidad vegetal.
- La conservación del paisaje agrícola, que lleva consigo además de las anteriores, al aumento de la diversificación de los microclimas locales, la mejora y conservación del agua, el mantenimiento de una gran diversidad de hábitat y especies.

En lo planteado anteriormente, estas características no actúan independientes, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales –fertilidad química- pero no estar provisto de buenas condiciones físicas y viceversa.

1.2 Materia orgánica del suelo

Báscones (2010) plantea que el suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas donde se almacena el agua y el oxígeno que absorben las raíces, además de los elementos necesarios para su nutrición y una extensa población microbiana y de pequeños invertebrados cuya actividad afecta a las propiedades físicas y químicas del suelo.

El suelo está constituido por tres fases:

- **Sólida:** Partículas minerales y materia orgánica.
- **Líquida:** Agua con elementos en disolución.
- **Gaseosa:** Aire, fundamentalmente O₂ y CO₂.

En su composición posee cuatro componentes principales: la fracción mineral, la fracción orgánica, aire y agua. La fracción mineral está formada por partículas de arena, limo y arcilla, la textura básica del suelo. El agua del suelo contiene minerales disueltos y es la principal fuente de agua y nutrientes para los vegetales. El aire del suelo es necesario para que las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo tengan oxígeno. La fracción orgánica (materia orgánica) incluye vegetales y animales en varios estados de descomposición (Docampo, 2011).

De forma general, todos los suelos contienen materia orgánica derivada directamente de los residuos de plantas y animales, la cual es sintetizada durante la descomposición biológica de estos. Un importante paso en la comprensión de la dinámica de la materia orgánica fue reconocer que solo una pequeña parte del total del carbono orgánico y nitrógeno presente en el suelo es biológicamente activo. De esta forma, se ha definido que la materia orgánica del suelo tiene dos componentes: uno descomponible y que genera la fertilidad del suelo y uno difícilmente descomponible que influyen las características coloidales y comportamiento químico de éste (Monic, 2003).

Según Vasquez (2008) , la materia orgánica del suelo son todos los compuestos orgánicos, vivos o muertos que se encuentren en él. La materia orgánica viva comprende las raíces, macro-organismos o fauna y los microorganismos. La materia orgánica muerta es clasificada en: a) fracción liviana, compuesta por residuos en descomposición con un tamaño mayor a 250 µm y con una densidad menor a 1,6 – 2,0 g/cm³, y b) una fracción pesada producto de agregados órgano-minerales con densidades mayores. De esta forma, la materia orgánica de los suelos es muy heterogénea y su permanencia en el suelo es muy variable, pues presenta tiempos de reciclaje que van desde horas a siglos.

La distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo está determinada por el tipo de vegetación. Por ser anual el ciclo vegetativo de las gramíneas, su

aporte es más periódico y la descomposición más rápida, por lo cual la distribución en el perfil es más uniforme, es decir, en el césped la incorporación de materia orgánica unida al potente enraizamiento da lugar a horizontes húmicos de mayor espesor que en el bosque (Yera, 2011).

La mayor parte de la materia orgánica del suelo tiene origen vegetal y proviene de la vegetación herbácea espontánea de los bosques y de los restos de las cosechas; es la principal fuente de nitrógeno y azufre para las plantas, a veces también de fósforo, tal es así que generalmente más del 95% del nitrógeno total del suelo se encuentra en la materia orgánica del mismo (Morales, 2003).

Su influencia es decisiva en las propiedades físicas como la estructura (granulación) del suelo y la capacidad de retención de la humedad. Las plantas superiores influyen en la formación del suelo, tanto durante el periodo de crecimiento y desarrollo como después de muertas, cuando sus residuos aéreos y radicales caen en la superficie o quedan formando parte del espesor del suelo (Morales, 2003).

La materia orgánica (residuos de plantas y materiales animales) está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus. Durante el proceso de descomposición los microbios pueden atrapar nitrógeno del suelo. La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje del mismo y de su laboreo. Los suelos minerales con mayor contenido de materia orgánica son normalmente los suelos de praderas vírgenes. Los suelos de bosques y aquellos de climas cálidos tienen una menor cantidad de materia orgánica (Doris y Placencia, 2012).

La materia orgánica se transforma poco a poco dando lugar, por una parte, a elementos minerales solubles o gaseosos tales como, NH_3 , NO_3H , CO_2 en un proceso llamado mineralización o biodegradación; otra parte de esta descomposición, origina complejos coloidales (complejos húmicos) que establecen relaciones físico-químicas con la materia mineral y que de esta manera se vuelven estables y resistentes a la acción microbiana en un proceso denominado humificación. Estos compuestos húmicos a su vez pueden

mineralizarse en un proceso más lento. La mineralización se realiza en dos etapas, amonificación con producción de NH_3 (N orgánico - N mineral) y posteriormente, a oxidaciones, se obtiene nitroso y nítrico. En condiciones desfavorables se corta el proceso en la amonificación (fuerte acidez, anaerobiosis) (Dominguez *et al.*, 2009).

Por otra parte la materia orgánica del suelo (MOS) se caracteriza por hallarse en continuo proceso de degradación, por lo cual se le considera un componente transitorio del suelo que debe ser repuesto continuamente. Esta materia orgánica raramente sobrepasa el 10% del total del suelo (generalmente oscila entre un 2 a 3%) pero aun así su influencia sobre las propiedades del suelo es de fundamental importancia y obliga a que las técnicas culturales conduzcan a un abastecimiento sistémico de las reservas húmicas (Corbella, 2006).

Según Von (2013), las cifras más altas de materia orgánica, excluyendo las turbas, corresponden a suelos de hierba, en climas húmedos y las cifras más bajas se encuentran en climas cálidos con escasez de lluvias. Las variaciones en el contenido de materia orgánica en el perfil del suelo son también muy considerables, apreciándose una disminución de esta desde la superficie hacia la profundidad.

Según Tarigo *et al.* (2004) existen diferentes fuentes de materia orgánica y procesos de descomposición:

Fuentes de materia orgánica

- Residuos actividad ganadera: Estiércoles, orines, pelos, plumas, huesos, etc.
- Residuos actividad agrícola: Restos de cultivos, podas de árboles y arbustos, malezas, etc.
- Residuos actividad forestal: Aserrín, hojas, ramas y ceniza.
- Residuos actividad industrial: Pulpa de café, bagazo de la caña de azúcar etc.
- Residuos actividad urbana: Basura doméstica, aguas residuales y materias fecales.

- Abonos orgánicos preparados: Compost, estiércol, humus de lombrices, abono verde, etc.

Procesos de descomposición

Materia Orgánica: Residuos orgánicos.

Humificación: Conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que transforman la materia orgánica en humus.

Humus: Es el estado más avanzado en la descomposición. Es un compuesto coloidal de naturaleza lino-proteico; es responsable de mejorar las propiedades físico-químicas de los suelos.

Proceso de Mineralización: Consiste en la transformación del humus en compuestos solubles asimilables por las plantas. Es un proceso lento (1 año) y sólo se realiza en condiciones favorables y por organismos altamente especializados.

1.3 Función e importancia de la Materia Orgánica en el suelo

La importancia que se le reconoce a la materia orgánica deriva de su intervención en procesos como la formación y estabilización de agregados, el ciclo bio-geoquímicos de nutrientes, el pH del suelo y el balance de agua y energía. Así, la materia orgánica tiene un papel importante en la retención de humedad, dado su carácter hidrofóbico e interviene en el transporte de agua y solutos, como la adsorción-desorción de pesticidas (García, 2013).

La materia orgánica desempeña muchas funciones importantes en los suelos, puesto que: se origina de los residuos vegetales; contiene la mayoría de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas; influye en la estructura de los suelos; los organismos presentes en el suelo dependen de ella para su alimentación y contribuyen al mismo tiempo proporcionando una condición física deseable al mezclar; crear túneles en su hábitat y participar en la mineralización (Vulca *et al.*, 2006).

Según Monic (2003), La materia orgánica del suelo es de suma importancia porque:

1. Actúa como almacén de nutrientes: Nitrógeno, fósforo, azufre, boro, zinc, etc.
2. Incrementa la capacidad de intercambio iónico.
3. Provee energía para actividad de microorganismos que contribuyen a la mineralización.
4. Incrementa la capacidad de retención de agua.
5. Estabiliza la estructura del suelo y hasta la mejora.
6. Reduce los efectos de compactación.
7. Amortigua el suelo contra cambios rápidos en acidez, alcalinidad y salinidad.

La materia orgánica favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más que su propio peso, lo cual es especialmente importante en el caso de los suelos arenosos. La materia orgánica incrementa la retención de nutrientes disponibles para las plantas debido a su mayor capacidad de intercambio de cationes (García *et al.*, 2010).

Según Brechelt (2008) La materia orgánica tiene propiedades biológicas, químicas y físicas:

Propiedades Biológicas

- Almacenamiento de energía metabólica.
- Fuente de macro-nutrientes.
- Estabilidad eco-sistémica (aumenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas perturbados).
- Estimulación e inhibición del crecimiento vegetal.

Propiedades Físicas

- Estabilización de la estructura del suelo (formación de enlaces con las superficies reactivas de las partículas minerales uniéndolas y formando agregados estables al agua).
- Retención del agua (hasta 20 veces su peso).

- Baja solubilidad (no se lixivia con facilidad).
- Color (altera las propiedades térmicas del suelo).

Propiedades Químicas

- Alta capacidad de intercambio catiónico.
- Alta capacidad tampón y efectos sobre el pH.
- Quelación de metales (reduce la pérdida de micronutrientes, reduce la toxicidad potencial de los iones y aumenta el aprovechamiento del fósforo).
- Interacción con pesticidas (altera la bio-degradabilidad, actividad y persistencia de los pesticidas en el suelo).

De forma general la materia orgánica es indispensable para la manutención de la micro, meso y macro vida del suelo. Igualmente la bio-estructura y toda la productividad del suelo se basa en la presencia de materia orgánica en descomposición o humificada y la misma proporciona:

- Sustancias agregantes del suelo, tornándose grumoso con bio-estructura estable a la acción de las lluvias.
- Ácidos orgánicos y alcoholes durante su descomposición, que sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre y fijadores de nitrógeno.
- Posibilita la vida de los microorganismos, especialmente los fijadores de nitrógeno, que producen sustancias de crecimiento, como triptófano y ácido indolacético.
- Alimenta a los microorganismos activos de la descomposición, que producen antibióticos que protegen las plantas de enfermedades contribuyendo así a la sanidad vegetal.
- Sustancias intermediarias producidas en su descomposición que pueden ser absorbidas por las plantas, aumentando su crecimiento, pero cuando la materia orgánica es humificada trae más beneficios.
- Aumenta la capacidad de cambio de cationes del suelo

- Aumenta el poder tampón, ósea la resistencia contra la modificación brusca de pH.
- Proporciona sustancias como fenoles, que contribuyen a la respiración de las plantas, a una mayor absorción de fósforo y también a la sanidad vegetal (Morales, 2003).

Cuadros (2008) demuestra que la materia orgánica origina en el suelo unos efectos con repercusión agronómica de gran interés. Los principales efectos son:

- 1) Mejora de las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica contribuye favorablemente a la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta la capacidad de retención de humedad en el suelo. Es decir, el suelo estará más esponjoso y con mayor capacidad para retener la humedad.
- 2) Mejora de las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K y micronutrientes y la capacidad de retención de éstos como medio necesario para su utilidad por las raíces de las plantas.
- 3) Mejora la actividad biológica del suelo. La materia orgánica actúa en el suelo como soporte y alimento de los microorganismos. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Una población microbiana activa es índice de un suelo fértil.
- 4) La materia orgánica ejerce otros efectos beneficiosos sobre los cultivos, como son la mayor facilidad para la germinación de las semillas.

El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, este aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad del tampón del suelo favorecen la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raíces (Paneque *et al.*, 2010).

La materia orgánica también facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas. Se conoce que la capacidad del suelo para absorber compuestos químicos como clorofenoles o cloroanilinas aumenta con el contenido en materia orgánica (Navarro, 2007).

1.4 Pérdida de Materia Orgánica en el suelo

El contenido de carbono orgánico del suelo depende principalmente del clima, la textura del suelo, la hidrología, el manejo de las tierras y la vegetación según (Hernández, 2013).

Clima

La materia orgánica disminuye más rápido a más alta temperatura, de tal forma que, en los climas más calurosos, los suelos suelen tener menos materia orgánica que en los climas más fríos.

Textura del suelo

En general, los suelos de textura fina tienen más materia orgánica que los de textura gruesa y retienen mejor los nutrientes y el agua, por lo que reúnen buenas condiciones para el crecimiento vegetal. Los suelos de textura gruesa se caracterizan por una mejor aireación y la presencia de oxígeno acelera la descomposición de la materia orgánica.

Hidrología (drenaje)

Cuanto más húmedo sea un suelo, menos oxígeno hay para los procesos de descomposición de la materia orgánica, que se acumula.

Manejo de las tierras (laboreo)

El laboreo aumenta el volumen de oxígeno en el suelo e incrementa la temperatura media de éste, lo que estimula la descomposición de la materia orgánica. También se produce pérdida de materia orgánica debido a la erosión, que reduce la capa superficial arable y el humus. En general, los cultivos aportan menos materia orgánica al suelo que la vegetación nativa.

Vegetación

Las raíces aportan mucha materia orgánica al suelo. Las plantas de prados y pastizales tienen raíces profundas que se descomponen dentro del suelo. En

los suelos forestales, en cambio, es la descomposición de las hojas la que aporta al suelo la mayor parte de la materia orgánica. Los cultivos producen más biomasa aérea que las raíces. La producción de materia orgánica en las tierras de labor depende del tipo de manejo de las tierras y, en particular, de si se retiran o dejan los rastrojos.

La pérdida de materia orgánica del suelo reduce la capacidad de infiltración del agua, lo que aumenta la escorrentía y la erosión. La erosión, a su vez, reduce el contenido de materia orgánica al arrastrar la tierra fértil. En condiciones de semi-aridez, esto puede dar lugar incluso a fenómenos de desertificación (Ribó, 2004).

La disminución del contenido de carbono orgánico del suelo puede limitar la capacidad del suelo para proporcionar nutrientes con vistas a una producción agrícola sostenible, lo que podría desembocar en una disminución de los rendimientos y afectar a la seguridad alimentaria. Menos carbono orgánico significa también menos alimentos para los organismos vivos del suelo y, por ende, una menor biodiversidad del suelo (Gonzales *et al.*, 2011).

1.5 Métodos químicos para determinar la materia orgánica en el suelo

Existen varios métodos para determinar el contenido de materia orgánica en el suelo. Estos métodos son: el método de calcinación, el método de oxidación por peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) y el método de Walkley-Black, mediante la oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

Según Burés (2004) el método de calcinación se determina por el contenido total de materia orgánica que posee el suelo completo o en alguna de sus fracciones. Debe tenerse presente que con este método se obtienen valores más altos en el contenido de materia orgánica del suelo, ya que con él se volatizan todas las formas de carbono orgánico presentes en la muestra.

Burés (2004) explica que el método de oxidación por peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) es recomendado para eliminar materia orgánica de muestras de suelos que están siendo sometidos a análisis textural y que presentan dificultades para dispersar debido a que tienen un alto contenido de ella, también es útil si se quiere cuantificar el contenido de materia orgánica en un

suelo, en que el contenido de ella sea bajo. En esta determinación debe tenerse mucha precaución al hacer las adiciones del peróxido de hidrógeno, pues la reacción puede ser muy violenta y causar quemaduras al operario, así como pérdida del material de la muestra, invalidándose la determinación.

El método de Walkley-Black está basado en la oxidación del carbono de la materia orgánica del abono orgánico por la acción del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en solución sulfúrica. Es requisito indispensable, para obtener resultados confiables, que en la determinación se utilice exceso de solución de ($K_2Cr_2O_7$) y que el ácido sulfúrico (H_2SO_4) sea concentrado.

La oxidación del carbono es activada por el desprendimiento del calor que se produce al añadir el (H_2SO_4) concentrado sobre la solución de ($K_2Cr_2O_7$), lo cual debe ser aprovechado al máximo porque de ello depende la eficiencia de la reacción oxidación-reducción. Con este método se obtienen valores confiables y correlacionan bien con los obtenidos con otros procedimientos. Este método es de uso universal y es recomendado por la mayoría de los especialistas en el mundo (Arrieche *et al.*, 2010).

1.6 Espectroscopia Vis-NIR

La espectroscopia ultravioleta-visible o espectrofotometría ultravioleta visible (UV/VIS) es una espectroscopia de fotones y una espectrofotometría. Utiliza radiación electromagnética (luz) de las regiones visible, ultravioleta cercana (UV) e infrarroja cercana (NIR) del espectro electromagnético. La radiación absorbida por las moléculas desde esta región del espectro provoca transiciones electrónicas que pueden ser cuantificadas (Volkan *et al.*, 2010).

La espectroscopia UV-visible se utiliza para identificar algunos grupos funcionales de moléculas, y además, para determinar el contenido y fuerza de una sustancia. Se utiliza de manera general en la determinación cuantitativa de los componentes de soluciones de iones de metales de transición y compuestos orgánicos altamente conjugados (Mouazen *et al.*, 2006).

Utilizado extensivamente en laboratorios de química y bioquímica para determinar pequeñas cantidades de cierta sustancia, como las trazas de metales en aleaciones o la concentración de cierto medicamento que puede llegar a ciertas partes del cuerpo.

El espectrofotómetro Vis/NIR está compuesto por una fuente, un detector, y un elemento dispersivo que permite la intensidad a longitudes de onda diferentes para ser grabados y luego procesados. Utiliza la radiación del espectro electromagnético cuya longitud de onda está comprendida entre los 100 y los 800 nm (energía comprendida entre las 286 y 36 Kcal/mol) (Chacón, 2014), (Stuart, 2004).

Según Forment y Hanselaer (2010) hay otros instrumentos Vis/NIR que son monocromadores individuales y espectrógrafos, que no son capaces de proporcionar una precisión satisfactoria debido al rechazo de la luz. Por lo tanto, se utilizan a menudo monocromadores dobles y el principal inconveniente de un sistema monocromadores de doble análisis son la necesidades del movimiento sincronizado y el enfoque de exploración consume mucho tiempo, esto lo hace poco práctico en el lugar y en el campo de estudio.

1.7 Empleo de técnicas espectroscópicas Vis-NIR en análisis de suelo

Kuang y Mouazen (2012) Indican que hay un debate sobre el tamaño óptimo de la muestra para así poder construir modelos de calibración con la mayor exactitud posible. Vis-NIR es una técnica de medición prometedora disponible para brindar información rápida sobre propiedades física y químicas del suelo, incluyendo la humedad, carbono, nitrógeno, fósforo y calcio.

Ofrece una amplia variedad en línea y en la línea de transmisión y reflexión difusa de ondas diseñadas para la medición de líquidos y sólidos, se utiliza ampliamente en la industria debido a su simplicidad, rapidez, y la necesidad de poco o ninguna preparación de la muestra. Por tanto, Vis / NIR está siendo cada vez más considerado como una posible alternativa para complementar o reemplazar los métodos en laboratorio químico convencional y se utilizara para los análisis de suelo (Bilgili *et al.*, 2010).

La implementación de programas de manejo de nutrientes utilizando tecnologías de sensores potencialmente, promueve el cuidado del medio ambiente, manteniendo la productividad de los cultivos y la rentabilidad (Casal, 2013). Por lo tanto permite avances significativos en el área de alimento de producción con la aplicación de insumos agrícolas, como fertilizantes, semillas, plaguicidas, entre otros, en tasa variable dentro de un campo, de acuerdo con

los requisitos o potencial productivo de varios sectores homogéneos(Stenberg *et al.*, 2010).

La mayoría de los trabajos sobre análisis espectrales para la cuantificación de las propiedades del suelo se ha centrado en espectroscopia Vis-NIR, un método analítico simple y no destructivo que se puede utilizar para predecir varias propiedades simultáneamente (Chang *et al.*, 2001). El espectro recoge tanto la información química como la física lo que nos permite determinar el contenido de materia orgánica.

1.8 Métodos estadísticos empleados en la medición

La Quimiometría es la disciplina que utiliza métodos matemáticos y estadísticos para la selección de los procedimientos experimentales óptimos y los tratamientos apropiados de los datos en los análisis químicos e incluye tres grupos principales de técnicas compiladas como (I) (pre-tratamiento), donde la reflectancia espectroscópica es pre-procesada(Cecilion y Brun, 2010), (II) métodos de clasificación, son las muestras del grupo de acuerdo con su espectro y (III) métodos de regresión, para relacionar el espectro con algunas propiedades cuantificables de las muestras.

En los espectros de tratamiento previo se utilizan técnicas para eliminar cualquier información irrelevante que no puede ser manejada adecuadamente por las técnicas de modelado (Schirrmann y Domsch, 2011) . Por lo tanto, las funciones matemáticas, tiene que ser usado para manipular o eliminar tales interferencias de las señales espectrales primas.

El tratamiento previo más comúnmente usado para las técnicas Vis-NIR en el suelo son $\log(1/R)$, los derivados, suavizado, la corrección multiplicativa de dispersión (MSC), normalización, la variante normal estándar (SNV) y Media Center (Ulmschneider y Roggo, 2008).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Estudio y toma de muestras del suelo analizado

Las muestras de suelo Pardo mullido medianamente lavado se colectaron en las unidades productivas de la UBPC-3 Jesús Menéndez, UEB Albarrán, UEB Pirey, UEB Pararrayo; todas estas pertenecientes a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, situada en la periferia norte del municipio Santa Clara, Villa Clara.

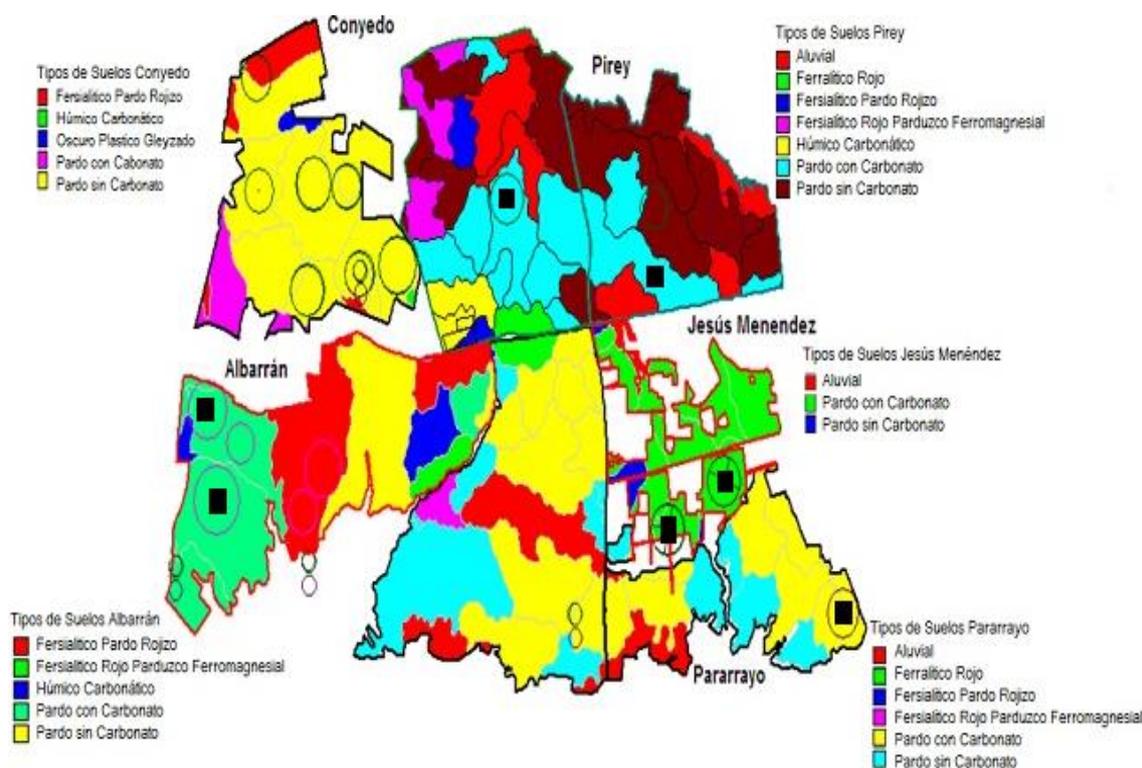


Figura 1. Distribución de los tipos de suelo en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Para el estudio de este suelo se extrajó 129 muestras de suelo de forma aleatoria tomadas en diagonal, mediante una barrena, a una profundidad de 20 cm ver (Figura 2), pues a esta profundidad se encuentra la mayor concentración de materia orgánica en el suelo, necesaria para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Para la validación se tomaron 40 muestras de una máquina de pivote central de 29 hectáreas perteneciente a la UEB Albarrán.

Para la calibración se colectaron 89 muestras, de estas se tomaron 15 muestras en dos máquinas de pivote central respectivamente para un total de 30

muestras en la UBPC-3, en la UEB Pirey se tomaron 15 muestras en una máquina de pivote central y 14 muestras en un campo con sistema de riego por aspersión, en la UEB Pararrayo se tomaron 15 muestras en una máquina de pivote central y 15 muestras en la UE Albarrán en una máquina de pivote central ver (Figura 1). Todos estos suelos pertenecen al grupo de suelo Pardo mullido medianamente lavado.

Las muestras fueron envasadas en bolsas de nylon con capacidad de 1 kg, después se trasladaron hacia el local donde se pusieron a secar al aire libre y lograr su secado. Luego, las mismas se trasladaron hacia el Centro de Investigación Agrícola (CIAP) donde fueron tamizadas a 0,5 mm para dejarlas en óptimas condiciones y realizar los análisis químicos convencionales.



Figura 2. Extracción de las muestras a una profundidad de 20 cm.

Las muestras recogidas se analizaron para obtener el contenido de materia orgánica, presente en el suelo. Su análisis químico se realizó en el laboratorio de química analítica del CIAP, perteneciente a la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

2.2 Análisis químico

Para realizar el análisis de la materia orgánica por el método de Walkley-Black el primer paso es pesar 1 g de suelo seco, previamente pasado por un tamiz de 0,5 mm y se deposita en erlenmeyer de 500 ml. Luego, se le añade 20ml de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) al 1% y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) para que se produzca la oxidación de la materia orgánica.

Posteriormente se debe dejar en reposo durante 30min con el propósito de que se produzca la reacción entre el dicromato y el ácido sulfúrico, en ese tiempo las muestras están dentro de la campana, que es la encargada de recoger los gases tóxicos que desprenden las muestras. Pasado los 30 min, se le añaden a cada muestra 200 ml de agua destilada y se deja en reposo, otra vez, durante 1 hora. Luego se filtra a través de un papel de filtro y se le realiza la lectura en un equipo llamado fotocolorímetro a una longitud de onda de 650 nm. Obtenida la lectura de cada una de las muestras, en tramitancia, se busca en una tabla que fue confeccionada mediante una curva que se hace previamente para conocer las diferentes concentraciones; este resultado se da en % ver Anexo1.

2.3 Metodología empleada en el Espectrofotómetro Vis-NIR

Para el análisis de las muestras de suelo en el laboratorio, se configuran los espectros Vis-NIR de reflectancia, este es ilustrado en la (Figura 3). Se compone de 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 3. Espectrofotómetro de red de diodos conectado a la PC.

La cabeza de medición OMK 500-H (Figura 3) ha sido diseñado para la medición de dispersión densa y para muestras relativamente heterogéneas en el modo de reflectancia difusa. Es especialmente adecuado para muestras on-

line, la medición de la reflectancia difusa con variación continua y una distancia entre la cabeza de medición y la superficie de la muestra.

Contiene una lámpara halógena de 10W, alimentado por una fuente de alimentación de 5V a través de un cable eléctrico. Un sistema proporciona iluminación óptica de la muestra a 0° en un haz casi paralelo. En el cabezal de medición del color, 15 fibras ópticas individuales están dispuestas de manera uniforme en un anillo de observación de la muestra a 45°.

Las fibras se encuentran agrupadas por una guía de luz que está conectado al espectrofotómetro. La conexión de guía de luz para el canal de medición se encuentra en la parte frontal del instrumento. El ordenador (PC) está conectada al espectrofotómetro a través de un Ethernet interfaz. La configuración mínima se determina por el software utilizado (Aspect-plus suministrada por Carl Zeiss Jena). No hay operaciones en que se requiera de otro dispositivo, ya que el control se maneja a través del software, en la PC.

2.4 Proceso de obtención de los datos espectrales

Los espectros de reflectancia fueron adquiridos en el laboratorio para todas las muestras tomadas en los suelos Pardos mullidos medianamente lavados de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Los espectros se obtuvieron utilizando los mismos ajustes del instrumento: longitud de onda de 379-1700 nm. Los tiempos de integración fueron: para el Vis (143,5 ms) y los NIR (200 ms). Una pequeña cantidad de la muestra de suelo (aproximadamente 12 g) se coloca en una placa de Petri de 10 mm de profundidad y 35 mm de diámetro.

El suelo en la placa de Petri se pulsa primero, en consecuencia se estabilizará cuidadosamente para obtener una superficie lisa y reducir la variación debida a la empaquetadura del suelo. A cada placa de Petri se le colocó 12 g de la muestra de suelo, situadas debajo del sensor en el centro del punto de coordinación.

Luego, se toman tres espectros de reflectancia sobre la zona central de la placa de Petri, a una rotación de la muestra aproximadamente de 120° entre las adquisiciones espectrales posteriores. Los tres espectros de cada muestra de suelo se promedian para obtener un espectro promedio por muestra. Cada

espectro se guarda como archivos individuales (Csv) y, luego son exportados para el Excel.

2.5 Procesamiento estadístico de las muestras

Se utilizó el software MATLAB 7.9 (R2009b), el cual es una herramienta integral de análisis de datos para estadística exploratoria, análisis multivariado, clasificación, predicción y diseño de experimentos.

Se aplicaron técnicas quimiométricas con el empleo del modelo regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) para la calibración y validación Vis/NIR. Como método de pre-procesamiento se utilizó la corrección de señal multiplicativa (MSC), 1ra derivada de Savitzky-Golay, suavizado medio, centrado medio.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis químico de la materia orgánica por métodos convencionales

Los estadísticos descriptivos de la materia orgánica del suelo Pardo mullido medianamente lavados de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, obtenidos mediante el procesamiento de datos y analizados por el método de Walkley-Black, a partir de las muestras tomadas en las áreas muestreadas para la calibración y la validación, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las concentraciones MO de las muestras de suelo para la calibración y la validación

Propiedad química	Media	Min	Max	DE	Clasificación
MO cal	2,30	0,69	3,55	0,66	Mediano
MO val	3,07	2,70	4,59	0,53	Mediano

MO en %; Min- mínimo valor observado; Max- Máximo valor observado

DE- desviación estándar de los datos de referencia

Al analizar ambos casos, la MO muestra valores de igualdad en cuanto a su clasificación, donde las muestras tomadas para la validación y la calibración se clasifican de mediano, ver Anexo 2.

El contenido medio de la materia orgánica está influenciado por los efectos de las prácticas agrícolas, factor que se ha podido apreciar en ambas áreas. Otros de los factores que afectan el contenido de materia orgánica son las intensivas aplicaciones de pesticidas, herbicidas, plaguicidas, el riego por aspersión y a niego. Además del riego con máquinas de pivote central en campos con grandes desniveles del terreno, provocando la erosión del suelo y con ello las pérdidas de MO.

Según Rodríguez (2015) la cantidad de MO presente en estos campos agrícolas es el resultado de la incorporación o la pérdida de la misma, a través de la descomposición. Un equilibrio positivo de MO es difícil de lograr, esto

significa que si se pierden grandes cantidades de MO, resulta difícil restaurar su nivel en el suelo. Incluso en condiciones favorables y con un buen manejo de los cultivos, esto puede tomar varias décadas.

3.2. Distribución de la frecuencia de la materia orgánica

Los histogramas de frecuencia de la MO del suelo tomadas en los campos muestreados para la calibración y validación se ilustran en la Figura 3.

Por otra parte la distribución de la frecuencia de las muestras tomadas para la calibración de 89 muestras se mostró que en un máximo de 23 muestras de MO en el intervalo de 2,70 – 2,85%, que representan el 20,2% del total, indica la calificación de mediano según los indicadores de la MO en las muestras tomadas para la calibración. Esto se refleja principalmente en los campos muestreados de la UEB Albarrán, 3 muestras en la UBPC-3, 1 en la UEB Pararrayo y 2 en UEB Pirey. El coeficiente de curtosis y de asimetría es negativo en ambos casos.

En el caso del histograma de frecuencia de las muestras para la validación de un total de 40 muestras de MO se mostró un máximo de 18 muestras en el intervalo de 2,62 - 2,85%, lo que representa el 25,7% del total, indica la estimación de mediano según los indicadores de clasificación de la materia orgánica en las muestras tomadas para la validación. Esto se evidencia en las muestras extraídas de la UEB de Albarrán. El coeficiente de asimetría fue de 2,11, mientras que la curtosis fue de 3,12.

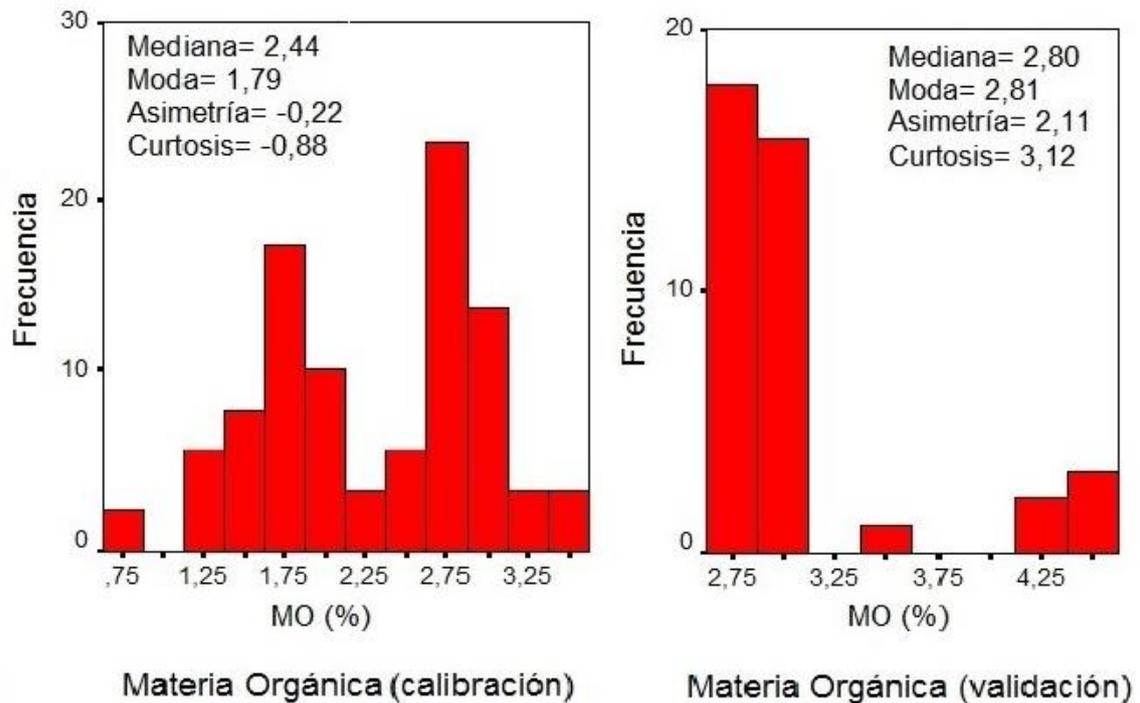


Figura 4. Distribución de la frecuencia de la MO en los campos muestreados para la calibración y la validación

3.3 Pre procesamiento de los datos espectrales

Después de obtenido los espectros de cada muestra de la MO se hace el pre procesamiento de los datos espectrales, donde este proceso está orientado a eliminar los datos con ruidos o incorrectos de cada espectro, ver (Figura 5 y 6), normalizado estos datos. Esto está orientado a reducir el tamaño de los datos mediante la agregación o eliminación de características redundantes.

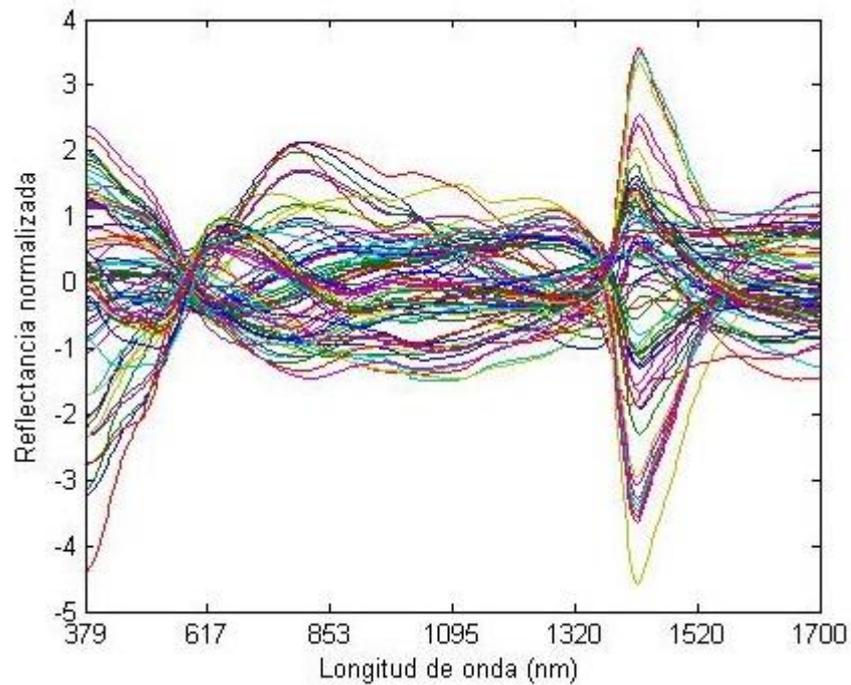


Figura 5. Datos espectrales pre procesados y normalizados para la calibración.

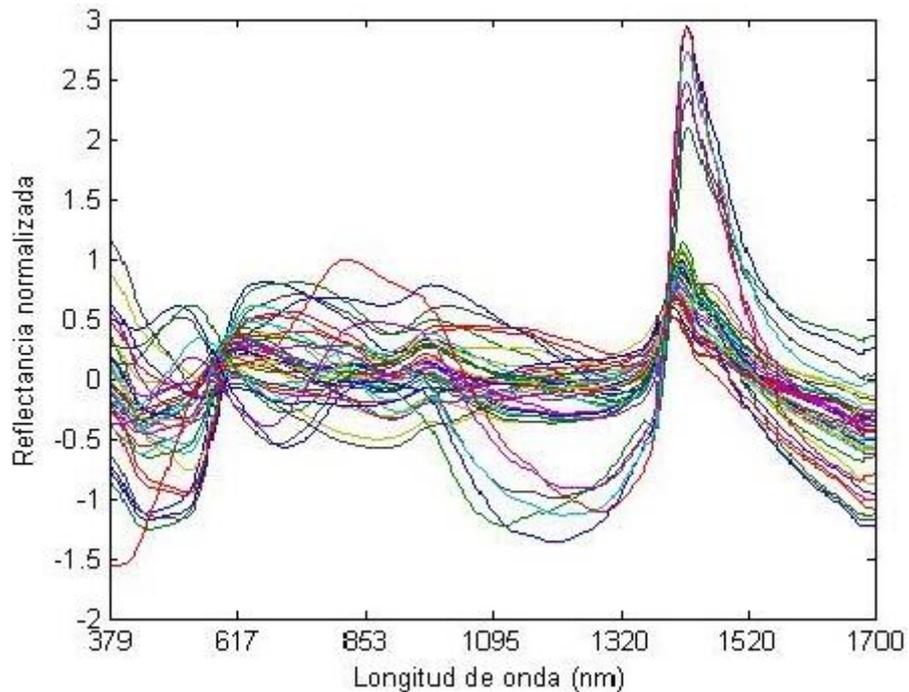


Figura 6. Datos espectrales pre procesados y normalizados para la validación.

3.4 Reflectancia espectral de las muestras de MO

Las curvas de reflectancia son una representación gráfica de la reflectancia espectral de las muestras de MO, como una función del rango de longitud de onda utilizado, comprendido en la región Vis/NIR. En la Figura 7 y 8, pueden

distinguirse los espectros de reflectancia de este tipo de suelo, tanto para los campos muestreados para la calibración, como el muestreado para la validación.

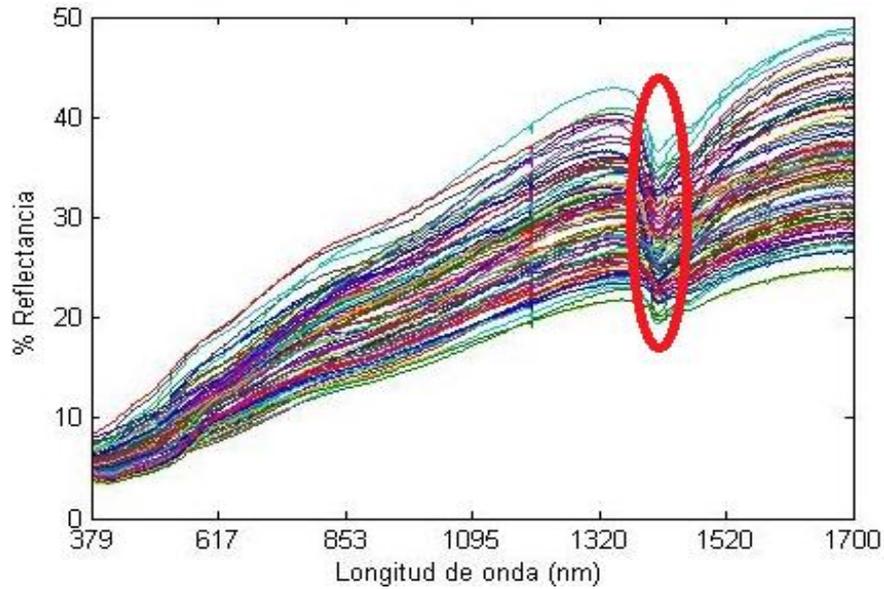


Figura 7. Reflectancia espectral de las muestras para la calibración.

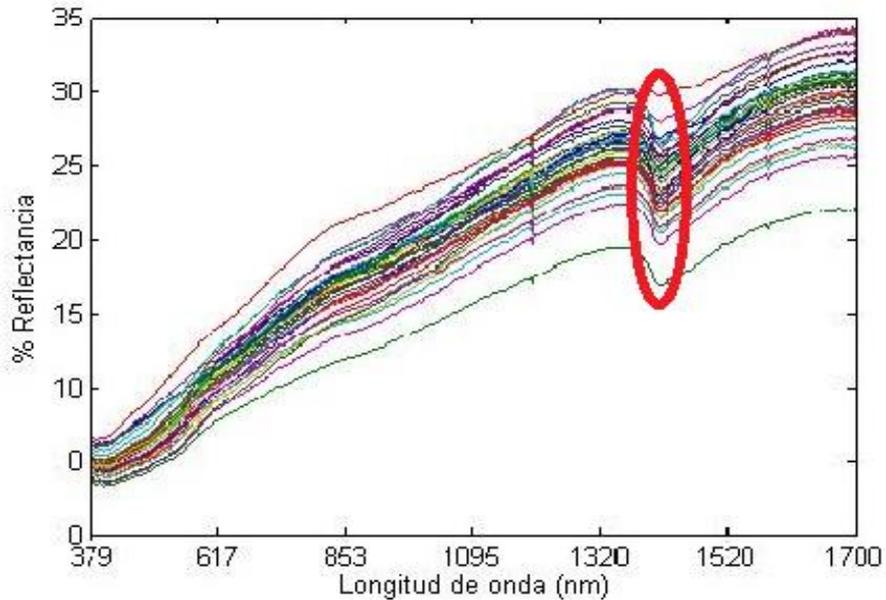


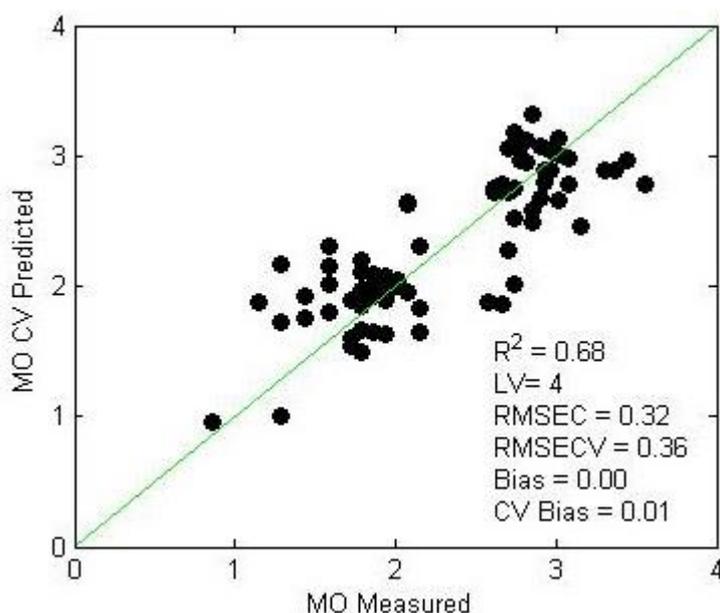
Figura 8. Reflectancia espectral de las muestras para la validación.

En los dos casos se observó que en la región ultravioleta visible de (399 - 780 nm) la reflectancia fue menor que en la región del NIR de (780 - 1700 nm). Los valores máximos de reflectancia se observaron en la longitud de onda de 1700 nm.

Alrededor de la longitud de onda de 1400 nm se observó un pico que decrece, que consecuentemente comienza a incrementar nuevamente alrededor de la misma longitud de onda. Esto se debe fundamentalmente a bandas de absorción de agua (H₂O), además a enlaces O-H, C-H y N-H ver Anexo 3. Esto se debe, a que las muestras de suelo Pardo mullido medianamente lavado aún secas contienen moléculas de agua en su composición química, que no son totalmente removidas durante el proceso de secado al aire. Estos resultados coinciden con los de (Choudhury *et al.*, 2009).

3.5 Predicción Vis-NIR de la materia orgánica

Los resultados de los modelos de predicción Vis/NIR se observan en la Figuras 9 y 10, donde se ilustran las correlaciones entre los valores obtenidos por métodos convencionales y los correspondientes a la predicción Vis/NIR.

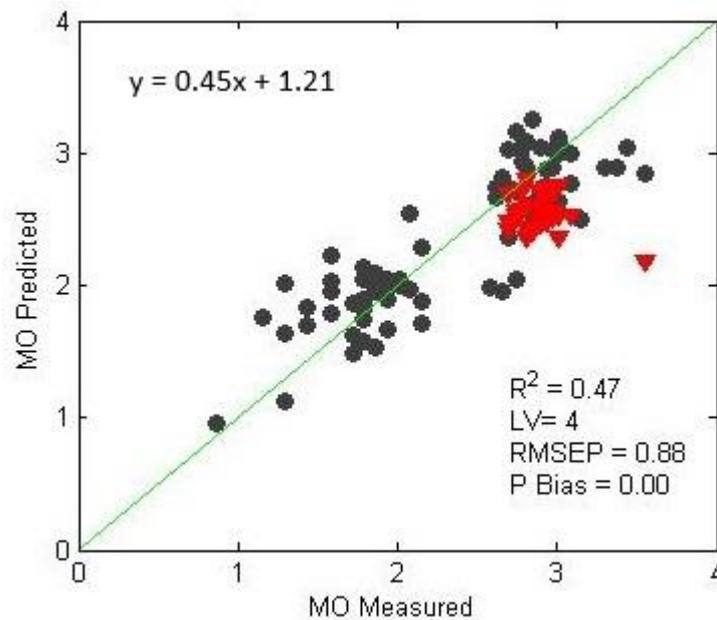


R^2 - coeficiente de determinación de la calibración;
LV- variables latentes
RMSEC - raíz cuadrada media del error de calibración;
RMSECV- raíz cuadrada media del error de validación cruzada;
CV Bias- desviación sistemática de la validación cruzada;

Figura 9. Resultados de la predicción Vis/NIR de la materia orgánica.

La predicción del modelo obtenido en la presente investigación fue baja. Esto pudo estar influido por la diversificación de granos, viandas, hortalizas y frutales que actualmente se siembran en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, siendo estos suelos sometidos a prácticas agrícolas severas durante todo el

año. Estos valores no coinciden con la predicción del modelo obtenido por (Chacón, 2014), que independientemente, están relacionado con el del presente estudio, pero no tienen el mismo comportamiento e historial de campo.



R^2 - coeficiente de determinación de la predicción;
 LV- variables latentes
 RMSEP - raíz cuadrada media del error de predicción;
 P Bias- desviación sistemática de la predicción;

Figura 10. Validación del modelo de predicción Vis/NIR

La validación del modelo de predicción mostró una predicción menos fiable para la MO con un coeficiente R^2 de 0,47 ver (Figura 10), con relación al R^2 de 0,92 de (Chacón, 2014) que se clasifica como exitoso.

Esto pudo estar influenciado por las muestras tomadas en Albarrán que son las muestras tomadas para la validación con un contenido de MO más altas que el resto de los campos tomados para la calibración. Otros de los factores, pudiera ser el factor humano en el momento de la toma de muestras y en el análisis de las mismas.

CONCLUSIONES

1. Las muestras de materia orgánica analizadas por métodos convencionales mostraron una calificación de mediano con un máximo en el intervalo de 2,70 - 2,85% y 2,62 - 2,85% para la calibración y validación respectivamente.
2. Las lecturas de reflectancia variaron con la longitud de onda y hubo un incremento en la región visible de 379 – 780 nm, y en la región NIR de 780 – 1700 nm.
3. La correlación de las muestras de materia orgánica para la calibración y la validación mostraron una predicción menos fiable con un $R^2 = 0,47$.

RECOMENDACIONES

1. Replicar esta investigación en otros tipos de suelos de importancia agrícola, con la inclusión de otras propiedades químicas del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRIECHE, I.; M. RUÍZ; C. E. CARRILLO DE CORI; M. LEÓN; L. M. AULAR; R. MORA; L. CASTILLO; M. R. TOVAR; A. MARTÍNEZ; H. BAPTISTA; T. DÍAZ; C. SILVA; J. CRUZ; A. M. REVERON; N. ALFONZO: "Comparación de dos métodos de análisis en la determinación de materia orgánica de los suelos": 1-6, 2010.
- BÁSCONES, E.: "ANÁLISIS DE SUELO Y CONSEJOS DE ABONADO": 2010.
- BAUTISTA, A.; J. ETCHEVERS; R. F. DEL CASTILLO; C. GUTIERREZ: "La calidad del suelo y sus indicadores", *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente Ecosistemas*, 13: 90-97, 2004.
- BILGILI, A. V.; H. M. VAN ES; A. F.; A. DURAK; W. D. HIVELEY: "Visible-Near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semiarid area of turkey", *J. of Arid Environments*, 74: 229-238, 2010.
- BRECHLT, A.: *La importancia de la materia orgánica en los suelos*. Ambiente, F. A. y. M. (ed.). pp. 2008.
- BURÉS, S.: "La Descomposición de la Materia Orgánica": 2004.
- CASAL, C.: *Implantación de la tecnología NIRS en aplicaciones in-situ como herramienta de apoyo a las decisiones en el sector primario*, Tesis (Maestría), Facultad de Biología, Universidad de Oviedo, España, 2013.
- CECILION, L.; J. BRUN: "Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) a practical tool for the assessment of soil carbon and nitrogen budget": 103-110, 2010.
- CORBELLA, R.: "*Materia Orgánica del Suelo*": 2006.
- CROPSCI: *La agricultura de precisión. Departamento de ciencia de los cultivos. Colegio de la agricultura y ciencias de la vida [en línea]*, vol. no. Disponible en: <http://www.cropsoci.ncsu.edu/PA.asp>.
- CUADROS, S.: *Compostaje y Biometanización [en línea]*, vol. no. España, Disponible en: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45609/componente45607.pdf.
- CUBILLA, M. M.: *Manejo del suelo, fertilidad y nutrición de la soja para aumentar la capacidad productiva en la región oriental del Paraguay [en línea]*, IAH, vol. no. Paraguay.
- CHACÓN, A.: *VIS/NIR spectroscopic measurement of selected fertility parameters of Cuban agricultural soils*, 189pp., Tesis KU Leuven, Belgium, 2014.
- CHANG, C. W.; D. W. LAIRD; M. J. MAUSBACH; C. R. HURBURGH: "Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties", *Soil Science Society of America*, 65: 480-490, 2001.

- CHOUHDURY, S.; C. DEEPANKAR; S. CHOUHDURY: *An Introduction to geographic information technology [en línea]*, vol. no. New Delhi, India.
- DOCAMPO, R.: *La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en roducción frutícola.*, INIA, No. Uruguay, 2011.
- DOMINGUEZ, J.; M. AIRA; M. GÓMEZ: "El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes", *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente Ecosistema*, 2: 2009.
- DORIS, S.; S. PLACENSIA: *Manejo ecológico del suelo como fundamento de los procesos de transición hacia la agroecología*, Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Ecuador, 2012.
- FORMENT, S.; P. HANSELAER: "Stray light performance of a combined monochromator- spectrograph UV irradiance measuring instrument Meas", *Sci. Technol*, 8(21): 2010.
- GARCÍA, E.: *Estrategias Para La Recuperación De Suelos Degradados En Ambientes Semiáridos: Adición De Dosis Elevadas De Residuos Orgánicos De Origen Urbano Y Su Implicación En La Fijación De Carbono*, Tesis (Doctoral), Departamento de química agrícola, geología y edafología, Universidad de Murcia, España, 2013.
- Manual de manejo de la fertilidad del suelo bajo riego deficitario ara el cultivo d la quinua en el altiplano boliviano*, Vig.
- GONZALES, J. A.; R. GONZALES; J. M. DE LA ROSA; F. J. GONZALES: *El fuego y la Materia Orgánica del Suelo [en línea]*, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, vol. 2 no. Sevilla, España.
- HERNÁNDEZ, J. C.: *Edafología y Fertilidad*. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, pp. 2013.
- JORDÁN, A.: *Manual de edafología*. Sevilla España: Universidad de Sevilla, pp. 2006.
- KUANG, B.; M. MOUAZEN: "Influence of number of samples on prediction error of visible and near infrared spectroscopy of selected soil properties at farm scale", *European Journal of Soil Science*, 63(3): 421-429, 2012.
- LABRADOR, J.: *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica [en línea]*, Sociedad Española de Agricultura Ecológica, vol. no. España.
- MONIC, V.: *Determinación del contenido de materia orgánica en suelos guatemaltecos por medio de la técnica de reflectancia con espectroscopía de infrarrojo cercano*, Tesis Química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2003.
- MORALES, M.: *LA MATERIA ORGÁNICA Y EL ESTADO DE FERTILIDAD DE LOS SUELOS PARDOS CON CARBONATOS BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO*
- Tesis (Maestría), departamento de agronomía, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Villa Clara, Cuba, 2003.

- MORÓN, A.; D. MARTÍNO; J. SAWCHIK: *Manejo y fertilidad del suelo [en línea], Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA, vol. no. Uruguay, Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135249.pdf>.*
- MOUAZEN, A. M.; R. KAROUI; J. DE BAERDEMAEKER; H. RAMON: "Characterization of soil water content using measured visible and near infrared spectra", *Soil Science Society of America Journal*, 70: 1295-1302, 2006.
- NAVARRO, J. L.: *Variación del contenido de materia orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas*, Tesis Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile, 2007.
- PANEQUE, V. M.; J. M. CALAÑA; M. CALDERÓN; Y. BORGES; T. C. HERNÁNDEZ; M. CARUNCHO: *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. (INCA), I. N. d. C. A. (ed.). La Habana, Cuba: Departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas, pp. 2010.
- PEGUERO, A.: *La espectroscopía NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados*, Tesis (Doctoral), Departamento de química, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona - España, 2010.
- RIBÓ, M.: *Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico*, Tesis Facultad de Farmacia, Universidad de Valencia, Valencia, España, 2004.
- RODRIGUEZ, J.: *Determinación de propiedades químicas del suelo Pardos mullidos medianamente lavados mediante espectroscopía de reflectancia Vis-NIR*, Tesis Ing Agrícola, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2015.
- SCHIRRMANN, M.; H. DOMSCH: "Sampling procedure simulating on-the-go sensing for soil nutrients", *Soil Sci*: 333-343, 2011.
- STENBERG, B.; R. A. VISCARRA R; A. M. MOUAZEN; J. WETTERLIND: "Visible and near infrared spectroscopy in soil science", *Advances in Agronomy*, 107(10): 163-215, 2010.
- STUART, B. H.: 2004. *Infrared spectroscopy fundamentals and applications, [en línea], vol., pp. 221, Chichester, UK, 2004, Disponible en.*
- TARIGO, A.; C. REPETTO; D. ACOSTA: *Evaluación agronómica d biofertilizantes en la producción de lechuga (Lactuca Sativa) a campo*, Tesis Facultad de Agronomía, Universidad d la República, Montevideo-Uruguay, 2004.
- ULMSCHNEIDER, M.; Y. ROGGO: "Pharmaceutical Manufacturing Handbook", *John Wiley & Sons, Hoboken NJ*: 353-410, 2008.
- VASQUEZ, D.: *Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de pastos*, Tesis (Ingeniero), Facultad de Ciencias

Pecuarias, Escuela superior politécnica de chimborazo, Riobamba ecuador, 2008.

- VISCARRA, R. R. A.; D. J. WALVOORTB; A. B. MCBRATNEYA; L. J. JANIKC; J. O. SKJEMSTADC: "Visible, near-infrared, mid-infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties", *Geoderma*, 131: 59-75, 2006.
- VOLKAN, A.; H. M. VAN ES; F. AKBAS; A. DURAK; W. D. HIVELY: "Visible near infrared reflectance spectroscopy for assessment of soil properties in a semi-arid area of Turkey", *Arid Environments*, 74: 229-238, 2010.
- VON, A.: *Contenido de materia orgánica y condición física de un kandiudult de misiones bajo diferentes sistemas de preparación del terreno forestal y bosque nativo*, Tesis (Maestria), Ciencias del suelo, Universidad de Buenos Aires, Argentina- Buenos Aire, 2013.
- VULCA, A.; L. MENESES; R. BLAS; S. BELLO: "La materia orgánica importancia y experiencia de su uso en la agricultura", *IDESIA*, 24: 49-61, 2006.
- YERA, Y.: *Evaluación del impacto ambiental de Bambusa vulgaris Schrader ex Wendland en un suelo Pardo mullido carbonatado*, Tesis (Maestria), Agronomía, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2011.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de la curva de materia orgánica en %.

Lectura (T)	Abs	% M.O.	Lectura (T)	Abs	% M.O.
100		0	73.5		4.44
99.5		0.06	73		4.52
99		0.123	72.5		4.59
98.5		0.184	72		4.66
98		0.246	71.5		4.73
97.5		0.307	71		4.84
97		0.37	70.5		4.95
96.5		0.43	70		5.05
96		0.52	69.5		5.16
95.5		0.602	69		5.27
95		0.69	68.5		5.38
94.5		0.77	68		5.48
94		0.86	67.5		5.59
93.5		1	67		5.7
93		1.15	66.5		5.81
92.5		1.29	66		5.91
92		1.43	65.5		6.02
91.5		1.58	65		6.13
91		1.72	64.5		6.24
90.5		1.79	64		6.34
90		1.86	63.5		6.45
89.5		1.94	63		6.56
89		2.01	62.5		6.67
88.5		2.08	62		6.77
88		2.15	61.5		6.88
87.5		2.29	61		6.99
87		2.44	60.5		7.1
86.5		2.58	60		7.2
86		2.62	59.5		7.31
85.5		2.66	59		7.42
85		2.7	58.5		7.53
84.5		2.74	58		7.63
84		2.78	57.5		7.74
83.5		2.81	57		7.85
83		2.85	56.5		7.96
82.5		2.9	56		8.06
82		2.93	55.5		8.17
81.5		2.97	55		8.28
81		3.01	54.5		8.39
80.5		3.08	54		8.49
80		3.15	53.5		8.6
79.5		3.23	53		8.71
79		3.3	52.5		8.82
78.5		3.37	52		8.92
78		3.44	51.5		9.03
77.5		3.55	51		9.14
77		3.66	50.5		9.25
76.5		3.76	50		9.35
76		3.87	49.5		9.46
75.5		4.01	49		9.57
75		4.16	48.5		9.68
74.5		4.3	48		9.78
74		4.37	47.5		9.89

Anexo 2. Evaluación de la materia orgánica del suelo. Fuente: (MINAGRI 1984)

% de Materia Orgánica	Categorías
< 2.0	Bajo
2.0 – 4.0	Mediano
4.1 – 6.0	Alto
> 6.0	Muy alto

Anexo 3. Asignación de bandas NIR a grupos orgánicos. Fuente: (Peguero, 2010)

