UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Agronomía

TRABAJO DE DIPLOMA

Caracterización de un suelo Pardo mullido medianamente lavado dedicado a la producción de hortalizas en casas de cultivo

Autor: Leonel Antonio Gómez Pérez

Tutora: Dra. C. Ariany Colás Sánchez

Ing. Juan Rolando Mesa Rodríguez

Santa Clara, junio, 2018

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual

Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Agradecimientos

A mis padres Antonio y Adiela por ser los mejores de todos y apoyarme siempre.

A mi madrastra Angélica María que a pesar de sus quisquillas siempre estuvo a mi lado y la quiero como una madre y a su familia por su acogida en todos estos años.

A mi Tutora Dra. C. Ariany Colás Sánchez por la orientación, consejos y paciencia porque sin ella sería imposible la realización de este trabajo y por aguantarme durante todo este tiempo y más que mi tutora ser una amiga, de la que siempre estaré agradecido.

A MSc. Rafael Mas y Ing. Juan Rolando Mesa por toda su ayuda y colaboración en una de las partes más importantes de este trabajo.

A los técnicos, investigadores y especialistas del CIAP: Oralia Rodríguez, Sirley Gattorno y Alianny Rodríguez por la ayuda en la realización de los análisis.

Al Dr. C Ahmed Chacón Iznaga y a todos los profesores de la facultad.

A todos mis compañeros de aula en especial a Juan Pablo Mesa y Carlos Ernesto, por todo lo q vivimos juntos durante la carrera.

A Alcides y Maricela que fueron como mi segunda familia, estaré eternamente agradecido con ellos.

A Dianelys que fue más que mi compañera de aula, igual siempre te tendré presente y le deseo muchos éxitos.

A mis mejores amigos Alejandro y Javier por todo su apoyo, siempre han estado presente cuando los he necesitado.

A mi primo Luis Manuel García ingeniero en agronomía por todos sus consejos y ayuda durante la carrera.

Y a todos los que de una forma u otra forma contribuyeron para el trabajo… Muchas gracias.

Dedicatoria

A toda mi familia por ser fuente de inspiración durante toda mi vida, que con cariño, esfuerzo y dedicación me han guiado por el camino correcto.

A mi abuela Aleida, por el amor, educación y el apoyo que siempre me ha brindado a lo largo de mi vida y ser la persona que siempre ha estado a mi lado en todo momento.

A la persona especial con la que comparto mi vida, alguien que a pesar del tiempo ha estado a mi lado cuando la he necesitado y principalmente por ser mi mejor amiga.

Pensamiento

"… no hay tierra, por rica que sea, que no mejore con el abono, ni alma que no se sazone con la vida, ni inteligencia que no crezca con el cultivo y ejercicios."

José Martí

Resumen

RESUMEN

Con el objetivo caracterizar diferentes propiedades de un suelo Pardo mullido medianamente lavado dedicado a la producción de hortalizas en casas de cultivo se desarrolló la presente investigación, en la UEB “Cultivo protegido y semiprotegido” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. El estudio incluyó el diagnóstico inicial de las propiedades físicas y químicas del suelo dedicado al cultivo protegido de hortalizas, así como la caracterización morfológica y determinación de propiedades físicas y químicas del perfil. Unido a la evaluación de la calidad del suelo, mediante la validación del diagrama propuesto para este tipo de suelo. Para el procesamiento estadístico e utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XV.2.14 sobre el sistema operativo Windows 7. Los resultados obtenidos revelaron que los indicadores químicos fueron más sensibles a los efectos del manejo, con CV muy alto (CV>50%) en el fósforo y moderado (25<CV<50%) en el resto de los indicadores. Las propiedades físicas y químicas de suelo son favorables para el desarrollo del cultivo y son una evidencia de los efectos del manejo sobre el suelo estudiado. En el perfil se evidenció una marcada diferenciación de horizontes y fuerte reacción al clorhídrico en el horizonte C, que confirma la presencia de un suelo Pardo mullido medianamente lavado. La comparación del diagrama de calidad de suelo con los indicadores obtenidos en para la casa de cultivo, evidencian los efectos del manejo sobre la calidad de suelo en estudio.

Índice

Índice

1. **Introducción** 1

2. **Revisión bibliográfica** 4

2.1. Suelos Pardos 4

2.1.1. Horizonte Mullido 5

2.2 La calidad de suelo 5

2.2 Indicadores de la calidad 8

2.3 Efecto de las prácticas de manejo sobre la calidad de suelo 10

2.4 Suelos dedicados al cultivo protegido de hortalizas 11

2.4.1 Preparación del suelo en cultivo de rotación. 11

2.4.2 Laboreo del suelo posterior a la cosecha. 12

2.4.3 El manejo de los suelos dedicados a casa de cultivo 12

2.6 Variabilidad espacial de los nutrientes en el suelo 13

3. **Materiales y métodos** 15

3.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo en la casa de cultivo 15

3.1.2 Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas 16

3.2 Caracterización de la morfología, propiedades físicas y químicas del perfil de suelo 17

3.2.1 Caracterización morfológica 17

3.2.2 Caracterización física y química del perfil 17

3.3 Evaluación de la calidad del suelo y validación del diagrama propuesto 18

3.5 Análisis estadístico 18

4. **Resultados y discusión** 19

4.1 Caracterización de propiedades físicas y químicas en la casa de cultivo 19

4.1. 1 Análisis de indicadores de la fertilidad de la casa de cultivo 19

4.1.1 Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en la casa de cultivo 22

4.1.3 Correlación entre las propiedades físicas y químicas de la casa de cultivo 24

4.2 Morfología, propiedades físicas y químicas del perfil de suelo 26

4.2.1 Caracterización morfológica y descripción del perfil de suelo 26

4.2.2 Caracterización física y química del perfil 28

5. **Conclusiones** 36

6. **Recomendaciones** 37

7. **Referencias bibliográficas** .....

8. **Anexos** .....

Introducción

1. Introducción

La calidad del suelo ha sido definida como "la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites del ecosistema natural o administrado, para mantener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y apoyar la salud y vida humana" (Karlen *et al*., 1997). Se considera que los suelos son un recurso no renovable dentro de la vida humana (Lal, 2009). Sin embargo, es considerado un recurso vulnerable muy influenciado por los procesos químicos, físicos y biológicos, por lo que su uso debe ser planificado racionalmente, teniendo en cuenta las necesidades inmediatas y asegurando su conservación a largo plazo con el fin de aumentar o al menos, mantener su calidad (Sultana, 2012).

La tendencia a la disminución de la calidad del suelo constituye en la actualidad una gran amenaza para la sostenibilidad de la agricultura intensiva, la cual con sus prácticas ocasiona la degradación y con ello la disminución de la productividad de este recurso natural (Blum, 2003; Lopez *et al*., 2011). Situación que se traduce en limitaciones físicas como degradación de la estructura, compactación, aumento en la densidad aparente así como diminución de la porosidad y la materia orgánica (Murray *et al*., 2014).

Una tecnología de producción hortícola muy difundida en el mundo, consiste en la producción en condiciones de cultivo protegido. En Cuba el cultivo de las hortalizas se maneja tanto a cielo abierto como en sistemas de cultivo protegido y semiprotegido, siendo esta producción especializada, dedicada en una buena parte, a abastecer las demandas de la industria turística. La producción de vegetales bajo sistema protegido facilita la producción de hortalizas frescas durante todo el año, con el consecuente aumento de los rendimientos y la calidad de los cultivos, unido ello a las ventajas que ofrece en el orden agronómico, económico y social.

En la provincia de Villa Clara las instalaciones dedicadas al cultivo se encuentran sobre suelos Pardo mullido medianamente lavado en el municipio de Santa Clara ocupando un área total de 2 ha en las que se ubican un total de 36 casas y Ferralítico rojo en el

municipio de Remedio con 12 casas que ocupan 0.8 ha (Mesa 2018)[1]. La explotación de estas áreas data de alrededor de 12 años.

En estos sistemas de producción los principales cultivos son el pimiento, pepino y tomate, los cuales se plantan directamente en el suelo, después de la conformación de canteros y aplicación de fuentes de materia orgánica. El fertirriego es una práctica obligatoria en este tipo de producción, (Imas, 1999a y 1999b) que conlleva a incrementos notables del rendimiento; sin embargo, su uso excesivo provoca impactos ambientales negativos, que ocasionan relaciones antagónicas entre los nutrientes del suelo, acidifican o salinizan el medio, repercutiendo en el rendimiento de los cultivos Armenta-Bojórquez *et al*. (2001) y el desbalance de los microorganismos del suelo (Chaveli *et al*. 2004).

Los suelos Pardos mullido medianamente lavado, son suelos representativos de la región Central de Cuba, fundamentalmente en la provincia de Villa Clara, siendo estos estudiados por varios investigadores (Hernández *et al*. 2008; Más, 2008; Ortega *et al*., 2010, Lopes, 2016). Estudios realizados por diferentes autores demostraron que estos suelos, en general son fértiles y productivos, con muy buena estructura en el horizonte superficial o capa arable (Jaimez *et al*. 2003; Morales *et al*., 2005; Yera, 2011; Bernal *et al*., 2015).

A pesar de la larga explotación de los suelos dedicados a cultivos protegidos en la provincia, no existen evidencias del impacto que sobre el suelo pueda tener este tipo de manejo, respaldado por el diagnóstico de fertilidad del mismo. Por lo que se hace necesario profundizar en el estudio de los mismos por su importancia, debido que a partir de ello, se puede determinar su tendencia y comportamiento frente a los diferentes tipos de manejos, la influencia de sus condiciones de formación en los indicadores de calidad, los cuales constituyen uno de los elementos más importantes para lograr una agricultura sostenible, además de tener valor práctico.

[1] Ing. Juan Rolando Mesa Rodríguez, Director UEB “Cultivo Protegido”

Las consideraciones anteriores conllevan al planteamiento de la siguiente hipótesis:

Hipótesis

La caracterización de un suelo Pardo mullido medianamente lavado dedicado a la producción de hortalizas en casas de cultivo, permitirá determinar el efecto de su uso y manejo sobre la calidad del suelo.

Para comprobar la hipótesis se proponen los siguientes objetivos,

Objetivo general

Caracterizar diferentes propiedades de un suelo Pardo mullido medianamente lavado dedicado a la producción de hortalizas en casas de cultivo.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar las propiedades físicas y químicas seleccionadas en el suelo dedicado al cultivo protegido de hortalizas.
2. Caracterizar la morfología, propiedades físicas y químicas del perfil de suelo en las casas de cultivo.
3. Evaluar la calidad del suelo en las casas de cultivo, mediante la validación del diagrama propuesto para este tipo de suelo.

Revisión bibliográfica

2. Revisión bibliográfica

2.1. Suelos Pardos

Son suelos que ocupan áreas extensivas y bien distribuidas en el país, de ahí su gran importancia en la agricultura y economía cubanas y que frecuentemente son utilizados para el cultivo de la caña de azúcar (Álvarez y Díaz, 2000).

Se estima que el área total ocupada alcanza los 20 000 km², algo menos del 20% del territorio nacional, superficie que duplica la ocupada por los suelos Ferralíticos rojos predominantes en la llanura Habana – Matanzas. La mayor parte se desarrolla a partir de rocas sedimentarias, carbonatadas o no, de efusivo-sedimentarias como las tobas carbonatadas y los más evolucionados, desde el punto de vista de la mineralogía de las arcillas, a partir de rocas ígneas intrusitas, tanto ácidas como básicas (Hernández y Ascanio, 1973). Hernández y Tatevosian (1979) comprobaron que estos suelos tienen un contenido relativamente alto de hierro libre que varía de 1,13 – 3,98 % en valor absoluto, disminuyendo en los horizontes BC y C, factor que está estrechamente relacionado con las condiciones de formación de los mismos.

De forma general son suelos de perfil ABC, de mediano a poco profundos, formados sobre cualquier tipo de roca, ellos se forman por el proceso de Sialitización que conlleva a la formación de un horizonte siálico (Hernández *et al*., 2015). Los suelos Pardos presentan un horizonte B con las siguientes características:

- Contenido en arcilla generalmente igual o menor que en el horizonte A. Se exceptúan suelos erosionados y en montañas donde el horizonte A puede tener menos arcilla debido al proceso de empobrecimiento
- Color pardo a pardo oscuro, pardo amarillento
- Estructura de bloques subangulares a veces prismática
- Predominio de minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita
- Capacidad de intercambio catiónico mayor que 30 cmol kg^{-1} en arcilla
- Contenido en hierro libre menor que 3 % y de hierro libre con relación al total menor que 40%.

Los suelos en estudio están dados por la presencia de horizontes mullidos y características vérticas, que a continuación se describen:

2.1.1. Horizonte Mullido

Según Hernández *et al*. (2015), este horizonte se define principalmente por su morfología y se atribuye a suelos de composición sialítica y fersialítica. Es un horizonte superficial (horizonte A) que se caracteriza por:

- Estructura bien desarrollada, generalmente nuciforme granular. Puede aparecer en época de seca en una subestructura de bloques subangulares, que se desmenuza en granular.
- No debe ser masivo y duro, al estado seco.
- Debe tener color oscuro con value y chroma menor de 3.5 en estado húmedo y menor de 5.5 en seco.
- Saturación por bases igual o mayor de 50 %
- Tener 18 cm de espesor; si no hay contacto lítico; en este último caso debe ser igual o mayor a 10 cm.
- Un contenido menor de 1500 mg kg^{-1} de P_2O_5 soluble en ácido cítrico.

2.2 La calidad de suelo

El suelo es una parte fundamental de la biosfera que, junto con la vegetación y el clima, ayuda a regular la circulación y afecta la calidad del agua (Blum, 2005). Este recurso tiene otras funciones en los agroecosistemas, dentro de las que se destacan, ser la base para la producción de biomasa, control y regulación los ciclos biogeoquímicos, así como el almacenamiento de carbono. Además de proporcionar el hábitat y contribuir con el mantenimiento de la biodiversidad y el suministro de la materia prima, unido ello a la preservación del patrimonio cultural y arqueológico (Zarnoza *et al*., 2015).

Sin embargo, es considerado un recurso vulnerable muy influenciado por los procesos químicos, físicos y biológicos, por lo que su uso debe ser planificado racionalmente, teniendo en cuenta las necesidades inmediatas y asegurando su conservación a largo plazo con el fin de aumentar o al menos, mantener su calidad (Sultana, 2012). La tendencia a la disminución de la calidad del suelo constituye en la actualidad una gran

amenaza para la sostenibilidad de la agricultura intensiva, la cual con sus prácticas ocasiona la degradación y con ello la disminución de la productividad de este recurso natural (Blum, 2003; Lopez *et al*., 2011). Situación que se traduce en limitaciones físicas como degradación de la estructura, compactación, aumento en la densidad aparente, así como diminución de la porosidad y la materia orgánica (Murray *et al*., 2014).

Su calidad es el sostén de la productividad primaria y otros servicios ecosistémicos. El laboreo de las tierras ha conducido a la degradación y erosión de los suelos más productivos en vastas regiones del planeta, disminuyendo su fracción de carbono orgánico, principal componente de su fertilidad y por lo tanto afectando la productividad primaria (Díaz-Roselló, 2003).

El sistema de laboreo y la rotación de cultivos son prácticas de manejo con reconocida capacidad de modificar la calidad del suelo. La implementación de sistemas de producción en los que los cultivos anuales rotan con pasturas perennes y no se laborean, mejoran los indicadores de calidad del suelo y reducen la erosión (García-Préchac *et al*., 2004).

Dentro de los suelos de mayor importancia están los suelos pardos los mismos ocupan áreas extensivas y bien distribuidas en el país, de ahí su gran importancia en la agricultura y economía cubanas y que frecuentemente son utilizados para el cultivo de la caña de azúcar (Villegas *et al*., 1994; Álvarez y Díaz, 2000).

El suelo es un elemento dinámico, cambia con el tiempo y en el espacio. Contiene material mineral y orgánico no consolidado, sujeto a los factores formadores (clima, roca, organismos, relieve y tiempo). Posee gran importancia para diversos fines no agrícolas tales como construcción, ingeniería, ordenación del territorio, tasación, entre otros (De la Rosa, 2008). El suelo, según sus propiedades y características es susceptible a la clasificación. Provee calor, aire, humedad, minerales y da soporte a la planta; transforma la energía solar y es considerado como un cuerpo tridimensional porque el límite superior es la superficie de la tierra, el límite inferior, es la profundidad efectiva de la meteorización (descomposición de la roca y de los minerales) o la

profundidad de penetración de las raíces, y el límite lateral está dado por la presencia de otro suelo con características diferentes (Arias, 2001).

En el suelo se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología, características y funciones. La formación de un suelo deviene un proceso largo, de cientos a miles de años, por lo que este recurso natural debe considerarse como no renovable (Bautista y Gerardo, 2005).

El comité de la Sociedad de la Ciencia del suelo Americana define la calidad del suelo (CS) como “la capacidad funcional de un tipo específico de suelo, para sustentar la productividad animal o vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire y sostener el asentamiento y salud humanos, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo”. La calidad del suelo incluye los conceptos de capacidad productiva del suelo y la protección ambiental. Las funciones específicas representadas por la calidad del suelo (Bredja y Moorman, 2001) incluyen:

1- Captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos.
2- Captar, mantener y liberar agua a las plantas y recargar las napas subterráneas.
3- Mantener un hábitat edáfico adecuado para la actividad biológica del suelo.

La definición de calidad del suelo ha sido durante mucho tiempo una cuestión difícil, ya que presentan alta variabilidad en propiedades, características y funciones. Las definiciones más integradoras son las establecidas por Doran y Parkin (1994) y Harris *et al*. (1996), sus estudios abordan la capacidad de los suelos para sostener la productividad biológica y mantener la calidad ambiental.

La misma es dinámica y puede cambiar en el corto plazo de acuerdo al uso y a las prácticas de manejo; para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo (NRCS, 2004). La mantención o mejora de la calidad del suelo puede generar beneficios económicos en forma de aumentos en la productividad, mayor eficiencia en el uso de nutrientes y pesticidas, mejor calidad del aire y del agua, reducción de los gases del efecto invernadero (Brejda y Moorman, 2001).

2.2 Indicadores de la calidad

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas (Tabla 1), o procesos que ocurren en él, los indicadores deben permitir: analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; analizar los posibles impactos antes de una intervención; monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Según Ramírez (2004) para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones:

- Describir los procesos del ecosistema.
- Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir.
- Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.
- Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- Ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Tabla 1. Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo	Valores o unidades relevantes
	Indicador físicos	
Textura	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo	% (arena, limo y arcilla); pérdida de sitio o posición del paisaje
Profundidad (suelo superficial y raíces	Estimación del potencial productivo y de erosión	cm; m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión	min/2,5 cm agua; g cm^{-3}
Capacidad de retención de agua	Contenido en humedad, transporte, erosión, humedad aprovechable, textura, materia orgánica	% (cm^3); cm humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación (mm h^{-1}).
Estabilidad de agregados	Erosión potencial de un suelo, infiltración de agua	% (agregados estables)
	Indicador químicos	
Contenido en materia orgánica	Fertilidad de suelo, estabilidad y grado de erosión, potencial productivo	kg (C ó N) ha^{-1}
pH	Actividad química y biológica	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y crecimiento de plantas	dSm^{-1}; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
N, P, K extraíbles	Disponibilidad de nutrientes para las plantas, indicadores de productividad y calidad ambiental	kg ha^{-1}; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
Capacidad de intercambio catiónico	Fertilidad del suelo, potencial productivo	mol kg $^{-1}$
Metales pesados disponibles	Niveles tóxicos para el crecimiento de las plantas y la calidad del cultivo	Concentraciones máximas en agua de riego
	Indicadores biológicos	
Contenido de biomasa microbiana	Potencial catalizador microbiano, reposición de C y N	kg (C ó N) ha^{-1} relativo al C, N total o al CO2 producido
Nitrógeno mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N	kg N $ha^{-1}día^{-1}$ relativo al C, N total
Aireación, contenido en agua, temperatura	Medición de la actividad microbiológica	kg C ha^{-1} $día^{-1}$ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entradas al reservorio total de C
Contenido de lombrices	Actividad microbiana	Número de lombrices
Rendimiento del cultivo	Producción potencial del cultivo, disponibilidad de nutrientes	kg producto ha^{-1}

Fuentes: Quintero G. (2000); CORTALC (2006); Instituto de Suelos (2007)

2.3 Efecto de las prácticas de manejo sobre la calidad de suelo

El suelo es un elemento esencial en la producción agrícola, ya que es un soporte indispensable de los cultivos, nutrientes y reserva de agua. Por lo tanto, no se trata de un medio inerte e inestable, sino de un sistema complejo con componentes biológicos, químicos y físicos, interactuando en equilibrio dinámico, donde intervienen diversas prácticas agrícolas.

Buscando restablecer el equilibrio y optando por técnicas de manejo sostenibles y ecológicamente viables se han utilizado muchas alternativas orgánicas en la agricultura cuya utilidad ha sido comprobada por diversos autores. Entre estas prácticas están los abonos orgánicos y entre ellos se resaltan el guano de murciélago, cachaza, compost, humus de lombriz o vermicompost. También se han empleado otros residuos de la agroindustria azucarera, estiércoles de diversa procedencia gallinaza, abonos verdes, residuos industriales (pulpa de café, residuos de destilería, vinaza, entre otros) (Rodríguez, 2007). En Cuba la aplicación de abonos orgánicos, empleo de coberturas vegetales y el tipo de agricultura son consideradas prácticas de manejo de suelo.

Bot y Benítez (2005) plantean que el humus mejora las propiedades biológicas físicas, químicas, físico-químicas de los suelos; por lo tanto los abonos orgánicos y abonos verdes aportan y constituye un importante mejorador para la fertilidad y el potencial de rendimiento de los suelos. Otras prácticas también han sido implementadas buscando restablecer el equilibrio en el manejo de los agros ecosistemas. García (2004) plantea que la cobertura de residuos beneficia principalmente a la conservación de la humedad, protección del suelo de los impactos directos de la lluvia, mejoramiento de las propiedades químicas, y de la erosión hídrica al constituir una barrera contra la escorrentía superficial, disminuyendo las pérdidas y mejorando la percolación y almacenamiento de agua y también como control de una amplia gama de especies arvenses.

La producción y algunas prácticas en los sistemas productivos agropecuarios convencionales, generan numerosas consecuencias que pueden degradar la calidad de los suelos, hasta el caso extremo de dejarlos improductivos. Dentro de las que se destacan, la compactación por uso de maquinarias pesadas o sobrepastoreo, la

erosión por deforestación e uso intensivo de labranza, salinización por uso de aguas con altas concentraciones de sales solubles, contaminación por uso excesivo de pesticidas, pérdida de materia orgánica y nutrientes, por no ser restituida con los insumos de origen sintético, pérdida de la diversidad de la biota del suelo, por uso de pesticidas, agroquímicos, y por el constante volteo del suelo al arar, que disturban su hábitat y los deja expuestos a condiciones extremas, entre muchos otros efectos que en general afectan la fertilidad o la estructura básica del suelo para poder producir (Vandermeer, 2011; Henríquez y Calbaceta, 2012).

2.4 Suelos dedicados al cultivo protegido de hortalizas

Cuando hablamos del tipo de suelo nos referimos a su composición física y sus propiedades. Los suelos están compuestos principalmente por minerales descompuestos (arena, limo y arcilla) y materia orgánica descompuesta. Una producción óptima de hortalizas se obtiene con suelos limo-arenoso con buen drenaje. Sin embargo, las hortalizas se desarrollan en una amplia gama de suelos, la mayoría de las hortalizas no se adaptan bien a suelos muy arcillosos que comúnmente se denominan suelos pesados cuyo drenaje y aireación es deficiente ocasionando una restricción en el desarrollo radicular y una mayor incidencia de enfermedades. Además, puede provocar deformación de hortalizas cuya porción comestible está por debajo del nivel del suelo, como es el caso de la zanahoria. Cultivos tales como él melón y calabaza prefieren suelos arenosos, debido a que su sistema radicular profundiza mucho. El suelo es el recurso fundamental para la producción agrícola, desafortunadamente, normalmente se le dedica muy poco tiempo en la selección del mejor suelo, incluso no hacemos ningún análisis del suelo, para al menos conocer el suelo que tenemos y saber cómo debemos manejarlo. En la producción orgánica de hortalizas el tipo y manejo del suelo son esenciales para la sanidad del cultivo, por lo tanto, se debe realizar un análisis del suelo (Condes y Martínez, 2004).

2.4.1 Preparación del suelo en cultivo de rotación.

El cultivo protegido de las hortalizas es una tecnología intensiva con un elevado índice de rotación del suelo, por lo que requiere que se garantizar condiciones óptimas para lograr los rendimientos potenciales máximos en cada especie. En cultivos en rotación,

el tiempo total de laboreo puede ser más breve teniendo siempre presente el cultivo precedente, así como el estado físico y sanitario del suelo.

2.4.2 Laboreo del suelo posterior a la cosecha.

Finalizada la recolección son retirados los restos vegetales y el sistema de riego, posterior a lo cual se procede al laboreo del suelo. Es obligatoria la realización de al menos las labores de rotura con los correspondientes pases de escarificación o mullidos intermedios, lo cual se puede lograr en un mayor o menor plazo, en dependencia del cultivo anterior, tipo de suelo, su grado de humedad y estado sanitario. Se recomienda, regar a tempero durante el proceso de preparación para mejorar la calidad del laboreo y reducir el plazo total de esta labor (Manual de cultivos protegidos, 2007).

2.4.3 El manejo de los suelos dedicados a casa de cultivo

La casi totalidad de las instalaciones de cultivo protegido de hortalizas en Cuba se encuentran sobre suelo, por lo que es necesario realizar su adecuado manejo, que permita obtener los mejores rendimientos y garantizar su conservación. Las características exigidas en los suelos bajo condiciones de cultivo protegido serian, suelos altos, profundos con buen drenaje interno y externo, adecuadas condiciones físicas, químicas y biológicas, pH entre 5.5 y 7.5, buena topografía libre de obstáculos, comprobada sanidad en relación con la presencia de nematodos.

Es favorable la aplicación de materia orgánica bien descompuesta de forma sistemática para mantener y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La materia orgánica aportada debe cumplir con la condición indispensable de estar bien descompuesta y libre de arvenses, hongos y nematodos, debe ser certificada.

La preparación del suelo es una de las actividades más importantes de la tecnología, ella debe cumplimentar las exigencias de profundidad en el mullido que favorezcan las propiedades físicas, químicas y biológicas, el control de arvenses, el drenaje, la eliminación de sales que se acumulan por efecto del fertirriego y la aplicación de prácticas eficientes de desinfección para el control de nemátodos y otros agentes.

La preparación inicial del suelo se realiza después de montada la casa de cultivo**,** de forma mecanizada o con tracción animal, según la disponibilidad de implementos y fuentes energéticas, el tiempo medio total de preparación del suelo es de 25 a 30 días (Manual de cultivos protegidos, 2007).

Mantener la productividad de los suelos utilizados en las actividades productivas es una cuestión de sostenibilidad.

Las actividades agropecuarias extraen del suelo, nutrientes para la producción de alimentos, donde el productor tiene la responsabilidad de sustitución o reposición. Los registros de productividad, las propiedades físicas y químicas del suelo, la oferta de producción, son algunos de los parámetros para comprobar si la actividad se ajusta a los criterios de sostenibilidad. Este proceso de gestión exige que la información esté disponible en forma permanente y se debe realizar el seguimiento de los niveles de productividad mediante:

- La medición de la productividad de las actividades agrícolas en las diferentes zonas de producción de una misma área de cultivo.
- Identificar las características del tipo de suelo.
- Identificar la topografía.
- Registrar la historia de la producción.

Estos aspectos son la referencia de la supervisión del rendimiento individual de cada área o parcela y las mediciones de la productividad se deben realizar por cada ciclo de producción, permitiendo la generación de datos históricos para el análisis. Todo esto se realiza con el fin de mantener la capacidad de producción en los diferentes tipos de suelos según (FAO, 2013).

2.6 Variabilidad espacial de los nutrientes en el suelo

La dependencia espacial ha sido reconocida desde hace dos décadas para propiedades del suelo (Trangmar, Yost y Uehara, 1985, citado por Obando, 2006). Las variaciones espaciales pueden estudiarse a través de técnicas geoestadísticas que permiten elaborar mapas y delimitar áreas de manejo homogéneo. En el caso del suelo la variabilidad está determinada por varios factores, como los procesos de formación de

los mismos y por procesos relacionados con el manejo, aplicación de fertilizantes químicos y materiales orgánicos, rotaciones de cultivo entre otros factores de manejo.

Se ha estudiado la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que afectan la productividad de los cultivos, reportándose asociaciones entre éstas y el rendimiento, aunque dichas asociaciones dependen del rango de variación del parámetro y del rango en que éste afecta al rendimiento (Ortega y Flores, 1999).

Para el estudio detallado de la variabilidad espacial de los suelos en las estaciones experimentales, no es factible el uso de la fotointerpretación como herramienta de mapeo, debido a que generalmente las unidades de suelos ocupan superficies pequeñas donde no hay límites obvios y donde los atributos de interés no se correlacionan con cambios visibles externamente (Burrough, 1986). En tales circunstancias es posible utilizar análisis geoestadístico, con uso del semivariograma y la interpolación para lograr un mapa iso-rítmico de atributos particulares (Burrough, citado por Giraldo y Mendoza, 2003). Sin embargo, el suelo es una entidad compleja que se caracteriza por la presencia de múltiples atributos, existiendo menor variabilidad en aquellas propiedades edáficas en su condición natural, que cuando es sometido a uso y las propiedades que más se afectan por el manejo, serán las que presenten mayor variabilidad (Jaramillo *et al.,* 2003).

Materiales y métodos

3. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el período comprendido entre los meses de febrero a abril de 2018, en áreas de la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Cultivo protegido y semiprotegido”, ubicada en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”, del municipio Santa Clara, en la provincia Villa Clara. En la casa de cultivo número 601, que procede de la firma CARISOMBRA modelo Tropical A-12, y ocupa una superficie de 540 m^2. La cual está compuesta por doce canteros, con 43 m de largo y 1.20 m de ancho separados entre sí a 1.10 m. Ubicada sobre un suelo Pardo mullido medianamente lavado (Hernández *et al*., 1999), que correlaciona con un Cambisol eútrico en la World Reference Database de la FAO/UNESCO (1988) y con un Inceptisol del suborden Ustept, subtipo: Mollic Eutrudept en la clasificación de la Soil Taxonomy (1999), de acuerdo con Hernández *et al*. (2005).

Durante el ciclo del cultivo anterior al muestreo, todo el fertilizante se aplicó mediante fertirrigación, que transcurrió desde el 23 de noviembre (siembra) hasta el 15 de febrero (cosecha). Antes de la siembra fue aplicada materia orgánica (estiércol vacuno) a razón de 15 kg m^{-2}.

3.1 Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo en la casa de cultivo

El muestreo se llevó a cabo en el mes de febrero del 2018. El mismo fue realizado antes de iniciarse la plantación y posterior a la cosecha final del pepino (*Cucumis sativus*) híbrido Y2-2005, comenzando a una distancia de 2.50 m de los lados de la casa. En cada cantero, fueron tomadas al azar un total de 8 submuestras a la profundidad de 20 cm separadas a aproximadamente a 5 m, que se reagruparon en 4 muestra por cantero, para un total de 48 en toda la casa, las que fueron almacenadas en bolsas de polietileno de 1 kg. Posteriormente las muestras fueron secadas al aire y tamizadas a 0.5 mm para análisis químico y 2 mm para análisis físicos, siguiendo la Norma cubana ISO 11646 (1999).

3.1.1 Análisis de las propiedades físicas y químicas

Incluyeron el **Coeficiente de permeabilidad (Log 10K)** - Se realizó según el método de Henin *et al*. (1958). **Factor de estructura (% FE)** - De acuerdo con Vageler y Alten (1931). **Agregados estables (% AE)** - Por el método de Henin *et al*. (1958). **Límite superior de plasticidad (%hbss LSP)** - Se determinó por el método del Cono de Balancín de Vasiliev. **Límite inferior de plasticidad (%hbss LIP)** - Se determinó por el método de los rollitos de Atterberg. **Índice de plasticidad (IP)** - Se determinó por la diferencia numérica entre los límites superior e inferior de plasticidad. **Densidad aparente (da)** - Método del cilindro y **Porosidad total (Pt)** Pt = (1- (da/ Pe))*100 expresada en % Vol, Pe= Peso Específico.

Materia orgánica (% MO) método colorimétrico de Walkey y Black; **pH (pH (H_2O), pH (KCl)**; método potenciométrico con una relación suelo-solución 1:2.5; conductividad eléctrica **(CE dSm^{-1})** por el método conductimétrico. el **P asimilable**, P – Olsen. Todos los análisis químicos se realizaron según la norma Ramal 279 del MINAGRI (NRAG 279, 1980).

3.1.2 Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas

El coeficiente de variabilidad (CV) fue determinado como sigue: CV= DE/Mi; donde **DE**-Desviación estándar y **Mi**-Media, y se clasificó según la escala propuesta por Aweto (1982) donde CV <25%, baja variabilidad; 25<CV<50%, moderado y 50<CV<100% alta variabilidad.

3.1.3 Correlación entre las propiedades físicas y químicas de suelo

La correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo, se realizó mediante análisis de coeficiente de Pearson (r). La significación estadística se midió a través del p-*value*, el cual es una medida de probabilidad que va de 0 a 1.

3.2 Caracterización de la morfología, propiedades físicas y químicas del perfil de suelo

3.2.1 Caracterización morfológica

Se realizó una calicata en la casa de cultivo, la caracterización del perfil fue realizada teniendo en cuenta la metodología propuesta por la FAO (2009). El color de los suelos en estudio se determinó mediante el Sistema de Notación Munsell (Anexo 1). La evaluación visual del suelo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Shepherd (2000). Todos los indicadores físicos y químicos, fueron interpretados a partir de la categoría de clasificación descrita en el Anexo 2.

Para la caracterización del perfil la toma de muestras se realizó en dependencia de la profundidad de cada horizonte, teniendo en cuenta los cambios de coloración que lo evidencian. En todos los casos fue seguido el método de muestreo estratificado descrito por Chacón (2014).

3.2.2 Caracterización física y química del perfil

Las determinaciones físicas y químicas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP).

Los indicadores físicos evaluados fueron: **factor de estructura (FE)** de acuerdo con Vageler y Alten (1931), **agregados estables (AE)** por el método de Henin *et al*. (1958), **límite inferior de plasticidad (LIP)** siguiendo el método de los rollitos de Atterberg, **límite superior de plasticidad (LSP)** se determinó por el método del Cono de Balancín de Vasiliev e **índice de plasticidad (IP)** resultante de la diferencia numérica entre los límites superior e inferior de plasticidad, **coeficiente de permeabilidad (log10k)** según el método propuesto por Henin *et al*. (1958); **densidad aparente (da)** siguiendo el método de los cilindros, los químicos **pH (KCl)** y **pH (H_2O)** siguiendo el método potenciométrico con una relación suelo-solución 1:2.5; conductividad eléctrica **(CE dSm^{-1})** por el método conductimétrico y **materia orgánica (% MO)** mediante el método colorimétrico de Walkey y Black.

3.3 Evaluación de la calidad del suelo y validación del diagrama propuesto

En la evaluación de la calidad de suelo se compararon los resultados obtenidos, con los indicadores de calidad propuestos por Yera (2011), para los suelos Pardo mullido medianamente lavado. Los mismos fueron: materia orgánica (%), factor de estructura (%), agregados estables (%) y coeficiente de permeabilidad (log10k). Para la validación del diagrama se seleccionaron áreas demostrativas con diferentes sistemas de manejo bajo el mismo suelo Pardo mullido medianamente lavado en la provincia Villa Clara las cuales fueron comparadas con los resultados obtenidos en la casa de cultivo.

El muestreo de suelo en las áreas demostrativas, en función del sistema de manejo, incluyó la toma de 5 muestras representativas del suelo, a la profundidad de 0-20 cm. Estas se localizan en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) No. 1 “Arnaldo Milián Castro”, perteneciente al Valle del Yabú, Centro de Estudios Jardín Botánico de Villa Clara (CEJBVC), perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Sus características principales son las siguientes:

Sistema de producción de Boniato (*Ipomoea batatas* L.), marco de plantación de 0.90 x 0.30 m, densidad de población de 3 703 plantas ha^{-1}.

Sistema Bosque, área establecida de bosque por más de veinte años. Comunicación personal (Castañeda, 2016)[2].

3.5 Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XV.2.14 sobre el sistema operativo Windows 7. Las diferencias estadísticas entre los tratamientos, se determinaron mediante el análisis de varianza simple con nivel de significación $p<0.05$, empleando la prueba de comparación de medias paramétrica TukeyHSD, verificando la normalidad y la homegeneidad de varianza. Se establecieron las correlaciones de Pearson entre todas las variables y se realizó análisis de regresión simple.

[2] Dr. C. Idelfonso Castañeda Noa. Director del CEJBVC (Comunicación Personal)

Resultados y discusión

4. Resultados y discusión

4.1 Caracterización de propiedades físicas y químicas en la casa de cultivo

4.1. 1 Análisis de indicadores de la fertilidad de la casa de cultivo

Los resultados obtenidos en las diferentes propiedades de suelo (Tabla 1 y 2), demuestran las variaciones de la fertilidad del mismo en la casa de cultivo. Los indicadores físicos evidencian los efectos positivos que sobre el suelo tuvo la aplicación en cada ciclo del cultivo, de materia orgánica a razón de 15 kg m^{-2}. En este sentido, Chen y Hseu (1997) reconocieron que la forma más efectiva de mantener la calidad del suelo es proporcionar suficiente materia orgánica a este y la acumulación de carbono orgánico. Indicadores como la permeabilidad y la densidad aparente, mostraron valores favorables en el suelo, en el caso de la primera varía desde la categoría de regular a adecuada Cairo (2006), observándose muy pocas diferencias estadísticas significativas entre los canteros. Para el caso de la densidad aparente las diferencias estadísticas no se evidencian en el cambio de categoría de evaluación que en todos los canteros se considera buena (Cairo, 2006).

La estabilidad de los agregados ha sido atribuida por varias investigaciones a las aplicaciones frecuentes de material orgánico, en la investigación los agregados estables varían de la categoría de malo a regular Cairo (2006), resultados que se contradicen con los obtenidos por Puget *et al*. (2000) quienes plantean que la estabilidad de los agregados se puede atribuir a la presencia de materia orgánica joven y los macroagregados estables son ricos en materia orgánica, afirmación que sugiere que la calidad de la materia orgánica pudo influir en esta respuesta del suelo de la investigación. Por otra parte, el uso intensivo del suelo y acción antrópica pueden incidir sobre la respuesta de este indicador, lo cual confirman Carvalho-dos Santos *et al*. (2012), al afirmar que el uso del suelo afectó la concentración de carbono orgánico (CO) en la capa superficial en las clases de agregados de 1.00 a 2.00 mm y de 0.25 a 0.50 mm. Similar respuesta se evidenció en el IP el cual varió de la categoría de menos plástico a muy plástico López *et al*. (1981), condición que se observó principalmente en los seis canteros ubicados a la derecha de la casa.

Tabla 1. Valores iniciales de algunas propiedades físicas de suelo, Casa de cultivo 601, UEB Cultivo protegido y semiprotegido.

Cantero	Coef. Perm. (Log 10k)	FE (%)	AE (%)	LSP (% hbss)	LIP (% hbss)	IP	da (g cm^{-3})
1	1.76 ab	66.08 a	33.07 c	65.10 ab	47.16 a	17.98bc	0.53d
2	1.75 ab	66.74 a	32.35 c	63.90 bc	47.85 a	15.075c	0.89a
3	1.90 a	63.49 b	43.94 a	65.22 ab	40.88 c	23.43a	0.98a
4	1.74 ab	66.08 a	33.07 c	65.75 ab	46.45 a	18.85b	0.91a
5	1.46 c	66.74 a	32.35 c	63.96 bc	44.00 ab	19.09b	0.54d
6	1.90 a	63.49 b	43.94 a	62.11 c	45.04 ab	18.24b	0.61bcd
7	1.84 ab	65.68 a	25.93 d	69.00 a	44.72 ab	22.62a	0.48d
8	1.80 ab	66.08 a	33.13 c	65.82 ab	41.13 ab	23.9a	0.95a
9	1.79 ab	66.08 a	37.18 b	63.44 ab	39.7 c	23.11a	0.57cd
10	1.87 ab	66.38 a	30.23 c	65.10 ab	41.1 c	23.33a	0.83a
11	1.88 a	66.08 a	38.1 b	65.10 ab	43.29 ab	23.78a	0.81a
12	1.78 ab	66.74 a	44.82 a	65.1 ab	44.15 ab	22.44a	0.85a
EE (±)	**0.072**	**0.032**	**0.552**	**0.450**	**0.551**	**0.450**	**0.042**

Leyenda: **Coef. Perm.**- coeficiente de permeabilidad; **FE**- factor de estructura; **AE**- agregados estables; **LSP**- límite superior de plasticidad; **LIP**- límite inferior de plasticidad; **IP**- índice de plasticidad; **da** – densidad aparente. Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD.

Aunque no se realizó la caracterización de la microflora del suelo, los resultados demuestran que los microorganismos no fueron eficientes en la descomposición de la materia orgánica aplicada. Lo cual corrobora la necesidad de implementar nuevas investigaciones en las que se tenga en cuenta la caracterización de la flora microbiana del suelo, teniendo en cuenta que la misma juega un importante papel en la descomposición de la materia orgánica y los procesos que se llevan a cabo en el suelo.

La densidad aparente puede ser incluida para ser evaluada como uno de los atributos de la calidad del suelo, evidenciando los cambios producidos en la estructura y compactación del mismo Doran y Parkin, (1994). En el estudio, el indicador mostró diferencias estadísticas significativas entre los diferentes canteros, pero que no se evidenciaron en cambio de la categoría de evaluación la cual se mantuvo en la categoría de baja. En el factor de estructura como en el resto de los indicadores, se

observan muy pocas diferencias significativas entre los diferentes canteros, manteniéndose siempre en la categoría de regular (Cairo, 2006).

Tabla 2. Valores iniciales de algunas propiedades químicas de suelo, Casa de cultivo 601, UEB "Cultivo protegido y semiprotegido".

Cantero	pH (H_2O)	pH (KCl)	P (mg 100 g^{-1})	MO (%)	CE (dS m^{-1})
1	6.74a	5.93	0.598ab	2.80ab	0.025
2	6.77a	6.06	0.628a	2.99a	0.025
3	6.63ab	5.88	0.239c	2.23c	0.025
4	6.69 ab	5.83	0.598ab	2.80ab	0.026
5	6.80a	6.09	0.628a	2.99a	0.026
6	6.52 ab	6.00	0.239c	2.23c	0.026
7	6.61 ab	6.05	0.629a	2.70ab	0.026
8	6.43 ab	6.00	0.617a	2.80b	0.026
9	6.81a	5.59	0.596ab	2.80ab	0.026
10	6.61 ab	6.04	0.602ab	2.88ab	0.025
11	6.78a	6.07	0.552b	2.78ab	0.026
12	6.23b	5.90	0.605ab	2.88ab	0.026
EE (±)	0.090	0.176	0.012	0.045	0.000

Leyenda: **Prof.**- profundidad; **MO**- materia orgánica; **CE**- conductividad eléctrica; **P**- fósforo. Medias con letras no comunes en una misma columna, difieren por Tukey HSD

Poniéndose de manifiesto lo planteado por Vicente, (2003) quien afirma que la Materia Orgánica tiene efectos sobre las propiedades físicas como son la agregación de las partículas y que además favorece la estabilidad y la estructura física del suelo, con el consecuente mejoramiento estructural del suelo.

Al evaluar el efecto del manejo sobre la acidez del suelo se observó que tanto para el pH (H_2O) como en KCl, no existieron diferencias estadísticas entre los canteros, en ambos casos evaluados de ligeramente ácido López *et al*. (1981). Lo cual pudiera explicar la respuesta obtenida en los agregados estables, teniendo en cuenta, que la actividad bacteriana es altamente influenciada por propiedades químicas como el pH próximo a la neutralidad (Acuña *et al*. (2006). La aplicación frecuente de fertilizantes también contribuye a la disminución del pH del suelo (Liebig *et al*. 2002). En suelos en los que predominan minerales del tipo 1:1 como la caolinita, posee una alta capacidad

de fijación de P (Meléndez y Molina, 2003), en el estudio el contenido de fósforo asimilable, varía entre canteros de bajo a medio (Anderson e Ingram 1993).

4.1.1 Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en la casa de cultivo

La variabilidad espacial de los indicadores de suelo influye en el tamaño y número de muestras necesarias para caracterizar los parámetros de fertilidad, Corwin *et al*. (2003). Lo cual en el estudio sería de gran valor y aporte, teniendo en cuenta que no existen reportes anteriores de la fertilidad de estos suelos bajo el manejo de cultivo protegido.

Los estadísticos descriptivos de las propiedades físicas y químicas de suelo evidencian las fluctuaciones de los mismos en la casa de cultivo (Tabla 3 y 4). Observándose que existieron variaciones numéricas en los valores máximos y mínimos de todos los indicadores evaluados y que en muchos casos se reflejaron en cambios en la categoría de evaluación.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las propiedades químicos del suelo, Pardo mullido medianamente lavado.

Indicador	Min	Max	DE (±)
pH (H_2O)	6.15LA*	6.85N	0.190
pH (KCl)	5.02MA	6.15N	0.230
P (mg 100 g^{-1})	0.235M	0.635M	0.143
MO (%)	2.16 M	3.00 M	0.253
CE (dS m^{-1})	0.024	0.027	0.003

Leyenda: *categoría de evaluación; **LA**-ligeramente ácido; **N**-neutro; **MA**-medianamente ácido; **M**-medio.

Las variaciones observadas en el pH en agua son similares a las obtenidas por Fall, (1998) quienes corroboran que estos valores de pH indican que no hay toxicidad de Al^{3+}, Mn^{2+} e H^{+}; más bien se evidencian cuando existe predominio de cationes como K^{+}, Ca^{2+} y Mg^{2+}. Por otra parte es de destacar que los valores de pH en KCl siempre fueron menores que los obtenidos en H_2O, unido a que los tenores de materia orgánica se mantuvieron en la categoría de medio.

De los indicadores físicos solo la densidad aparente mostró el mayor coeficiente muy alto (CV>25%), el resto mostró coeficientes que en general no superaron el 20%. Lo cual nos da una medida de que el manejo realizado no influyó en la variabilidad de los mismos.

Tabla 4. Estadística descriptiva de las propiedades físicas del suelo, Pardo mullido medianamente lavado.

Indicador	Min	Max	DE (±)
da (g cm^{-3})	0.45MB*	1.00B	0.19
LIP (% hbss)	39.20	48.02	2.65
LSP (% hbss)	61.23	69.13	1.84
IP	14.23MeP	24.35MP	2.95
Log (10k)	1.42R	2.03E	0.14

Leyenda: *categoría de evaluación; **B-** baja; **E**- excelente; **MB-** muy baja; **MP**-medianamente plástico; **MeP**- menos plástico; **MP**- muy plástico; **R**-regular.

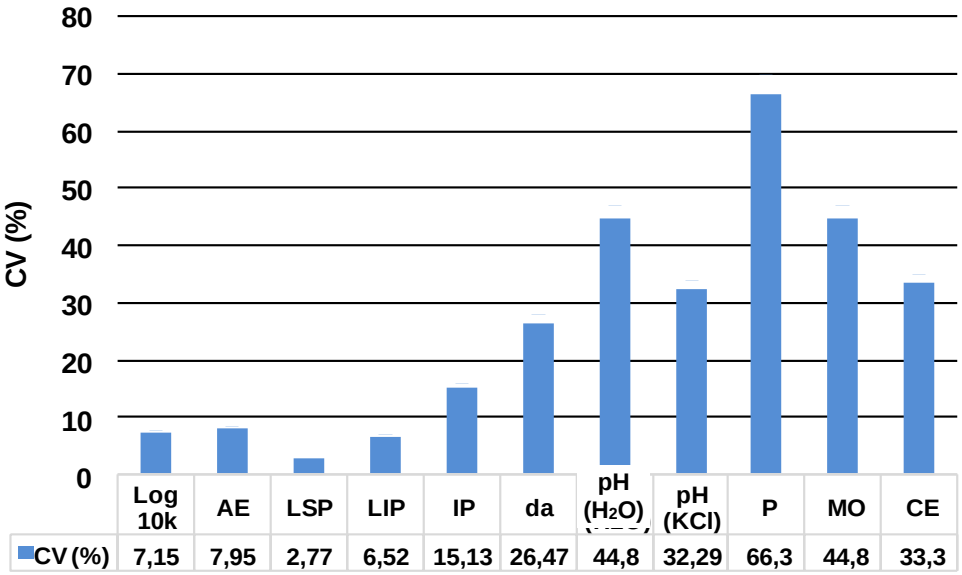


Figura 1. Coeficientes de variación de los indicadores evaluados.

Leyenda: CV- coeficiente de variabilidad; **log 10k-** coeficiente de permeabilidad; **AE-** agregados estables; **LSP-** límite superior de plasticidad; **LIP-** límite inferior de plasticidad; **IP-** índice de plasticidad; **da-** densidad aparente; **P-** fósro; **MO-** materia orgánica; **CE-** conductividad eléctrica

Las propiedades químicos de suelo, en sentido general mostraron ser más sensibles a los efectos del manejo, lo cual se evidencia en los coeficientes de variación, que se evalúan como muy alto (CV>50%) en el fósforo y moderado (25<CV<50%) en el resto de los indicadores (Aweto 1982). Los altos valores obtenidos en el fósforo dependen del manejo realizado (Chacón, 2014) y sugiere que la aplicación de fertilizante fosfórico incrementó la variabilidad de este nutriente en el suelo. La variación de las propiedades en el suelo demuestra que las enmiendas no deben ser realizadas de forma uniforme en todos los canteros y sin tener en cuenta la fertilidad en particular.

Los resultados demuestran que los indicadores químicos pueden ser utilizados para predecir la calidad del suelo en estudio, teniendo en cuenta lo planteado por Colás (2007), quien afirma que uno de los requisitos de una propiedad de suelo para ser utilizada como indicador de calidad es la sensibilidad a los cambios

4.1.3 Correlación entre las propiedades físicas y químicas de la casa de cultivo

El análisis de los coeficientes de correlación de Pearson entre los indicadores de suelo evaluados mostró la reacción existente entre los mismos, en la casa de cultivo (Tabla 5). Como se puede observar la materia orgánica correlacionó positivamente con el coeficiente de permeabilidad, factor de estructura, los agregados estables, y el fósforo asimilable, en los tres últimos con R^2 superiores a 0.5. Mostrándose la alta relación lineal de esta propiedad con algunas propiedades físicas. Resultados que coinciden con los obtenidos por Ríos (2010) quienes reportan que entre la materia orgánica y P_2O_5 asimilable se logró el mayor % de correlaciones significativas en relación con el total de las propiedades estudiadas. Corroborando que los contenidos de Materia Orgánica totales y sus fracciones son importantes atributos de la calidad de suelo.

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre las diferentes físicas y químicas de suelo evaluadas en la casa de cultivo.

Indicador	AE	FE	Log 10k	LSP	LIP	IP	CE	da	pH (H_2O)	pH (KCl)	P- Olsen
AE											
FE	1.0000										
Log 10k	-0.4271	-0.4264									
LSP	0.2395	0.2409	0.1737								
LIP	0.1911	0.1903	-0.1704	0.0257							
IP	-0.0901	-0.0885	0.3919	0.4842*	-0.7891**						
CE	0.2195	0.2191	-0.1719	0.4110*	0.0901	0.1924					
da	-0.0686	-0.0681	0.2246	0.0359	-0.1881	0.1595	-0.2511				
pH (H_2O)	0.2136	0.2120	-0.1335	-0.0882	0.1247	-0.2349	0.1251	-0.2876			
pH (KCl)	0.1337	0.1317	-0.0071	0.2401	0.2875	-0.0498	0.3243	-0.0806	0.0150		
P- Olsen	0.9532**	0.9538***	-0.3986	0.3800	0.1745	-0.0215	0.2173	-0.1567	0.1226	0.0953	
MO	0.9979***	0.9977***	-0.4488*	0.2034	0.2019	-0.1188	0.2139	-0.0621	0.2157	0.1527	0.9414***

Nivel de significación: * 0.05 > P > 0.01, ** 0.01 > P > 0.001, *** P < 0.001.

4.2 Morfología, propiedades físicas y químicas del perfil de suelo

4.2.1 Caracterización morfológica y descripción del perfil de suelo

El clima, como el resto del país se caracteriza por período de invierno y verano bien definidos, así como alternancia de períodos lluviosos y secos. En la zona de muestreo la temperatura media anual es de 24.0 °C y la precipitación media aproximada es de 106 mm. El suelo estudiado se corresponde con un perfil Ap/B1/B2/B3/C (Tabla 6), el cual es dedicado al cultivo de hortalizas en sistema protegido.

Tabla 6. Descripción del perfil de suelo Pardo mullido medianamente lavado, Casa de cultivo 601, UEB Cultivo protegido y semiprotegido.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	**0 - 18**	Color 10YR $^{3}/_{2}$, pardo grisáceo muy oscuro, ligeramente húmedo, de textura arcillosa, estructura en bloques subangulares medios. Presencia de poros finos, consistencia bastante friable, ligeramente adhesivo y plástico. Muy pocas concreciones irregulares y pequeñas, de color oscuro, sin reacción al HCl. Transición neta y plena.
B1	**18 - 36**	Color 10YR $^{4}/_{6}$, pardo amarillento oscuro, de estructura en bloques subangulares finos a granular media, textura arcillosa, ligeramente plástico y adhesivo, friable. Presencia de poros finos y medios, pequeñas concreciones de color oscuro irregulares y esféricas. Pequeñas gravas de diferentes composición, pocas raíces y alguna actividad biológica, sin reacción al HCl. Transición gradual
B2	**36 - 55**	Color 10YR $^{5}/_{8,}$ pardo amarillento, con manchas de color 7.5 YR 5/8, Pardo fuerte, ligeramente húmedo, sin estructura, textura arcillosa a franco arcillosa, friable. Muy pocas concreciones pequeñas e irregulares de color oscuro. Prácticamente sin raíces ni actividad biológica, ligera reacción al HCl. Transición gradual
B3	**55 – 75**	Color 2.5 Y $^{5}/_{6,}$ pardo olivo claro con manchas pardo fuertes y de color 5 Y $^{6}/_{6,}$ Amarillo olivo. Sin estructura y textura arcillosa a franco arcillosa. Friable, ligeramente húmedo. Prácticamente sin presencia de raíces ni actividad biológica, ligera reacción al HCl pero en mayor proporción que en el horizonte superior. Transición clara
C	**75-110**	Color 5 Y $^{6}/_{3}$, Olivo palo. Ligeramente húmedo, sin estructura, friable, abundantes nódulos calcáreos (ojos blancos), textura franco arcillosa. Sin raíces, ni actividad biológica, fuerte reacción al HCl.

El mismo se desarrolló en regiones con régimen de precipitaciones abundantes y en terrenos con una pendiente adecuada que permiten la descarga superficial del exceso de agua. Lo cual hace de ellos ser considerados los más explotados desde el punto de vista agrícola en nuestro país.

En el perfil se evidenció una marcada diferenciación de horizontes, con respecto al material parental (Figura 2). En este tipo de suelo la transformación inicial del material de origen resulta evidente por su frágil y principalmente parduzca decoloración y/o formación de estructuras edáficas debajo del horizonte superficial.

Figura 2. Perfil del suelo Pardo mullido medianamente lavado.

El horizonte A, se caracterizó por la presencia de raíces finas y con alguna actividad biológica, además como es característico presentó un color más oscuro comparado con el resto de los horizontes y originado además por las aplicaciones constantes de

materia orgánica. Se pudo observar que la estructura del suelo se caracteriza por bloques subangulares en la superficie, hasta la pérdida de la misma, lo que conlleva a que la actividad biológica no sea muy intensa, en los horizontes inferiores. Con el incremento de la profundidad se observó un deterioro de las propiedades físicas, comparado con los horizontes superiores. La fuerte reacción al clorhídrico en el horizonte C evidencia el arrastre de los carbonatos y su acumulación, unido a la formación de nódulos calcáreos, claramente visibles.

4.2.2 Caracterización física y química del perfil

La tendencia general de las propiedades físicas y químicas en el perfil de suelo (Tabla 7 y 8), evidencia los cambios generados por las diferentes profundidades, además del posible efecto, que sobre el suelo pudo tener el manejo intensivo bajo cultivo protegido. La mayoría de los indicadores disminuyeron cuantitativamente con la disminución de la profundidad del perfil.

Tabla 7. Propiedades físicas del perfil. Casa de cultivo 601, UEB Cultivo protegido y semiprotegido.

Horizonte	Prof. (cm)	Coef. Perm. (Log 10k)	FE (%)	AE (%)	LSP (%hbss)	LIP (%hbss)	IP	da (gcm^{-3})	Pt (% vol.)
Cubierta	0 - 18	2.32ab	63.83c	63.03 a	64.53a	42.67a	21.86ab	1.31a	51.6
H B 1	18 - 36	2.32ab	64.40c	57.30ab	61.85a	41.07ab	20.78ab	1.26a	49.8
H B 2	36 - 55	2.57a	94.32a	50.57b	62.06a	43.28a	18.78b	1.11a	55.6
H B 3	55 – 75	2.60a	87.54b	46.78b	62.70a	39.80b	22.90a	0.75b	70.0
H C 1	75-110	1.85c	66.70c	22.86c	54.09b	35.19c	18.89b	1.21a	51.6
EE **(±)**	-	**0.08**	**0.23**	**1.87**	**0.83**	**0.41**	**0.59**	**0.06**	**2.50**

Leyenda: **Prof.**- profundidad; **Coef. Perm.**- coeficiente de permeabilidad; **FE**- factor de estructura; **AE**- agregados estables; **LSP**- límite superior de plasticidad; **LIP**- límite inferior de plasticidad; **IP**- índice de plasticidad; **da** – densidad aparente. Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD.

En el caso específico de la permeabilidad, varía de la categoría de excelente a adecuado, disminuyendo con la profundidad y mostrando diferencias estadísticas solo entre la cubierta y el horizonte C. Los agregados estables, varían de la categoría de

adecuado a malo, observándose diferencias estadísticas entre los diferentes horizontes (Figura 3).

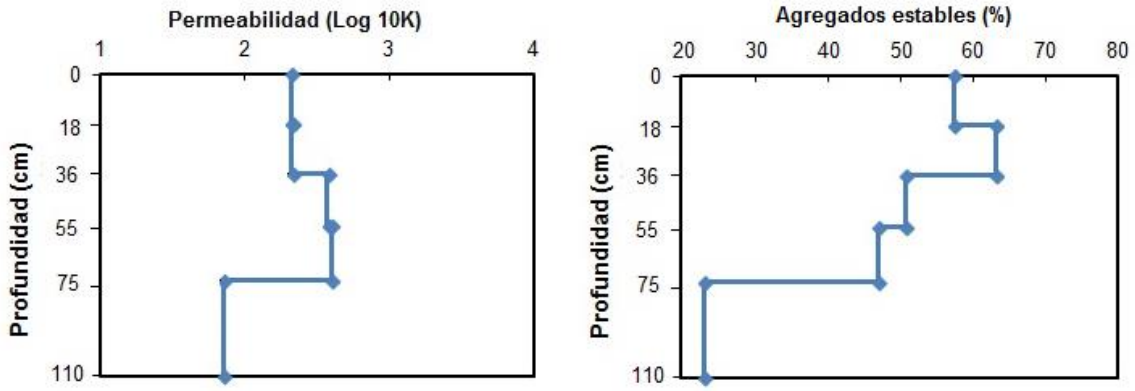


Figura 3. Variación de la permeabilidad y los Agregados estables con la profundidad del perfil.

Se observó un aumento del índice de plasticidad a través de los horizontes del suelo, el cual varió de la categoría de muy plástico en la cubierta (21.86) a menos plástico en el horizonte C (18.89). La densidad aparente estuvo en el rango de 0.75 (muy baja) – 1.31 gcm^{-3} (mediana) y disminuyó con la profundidad del perfil. La disminución de este indicador fue atribuido al contenido de materia orgánica en suelo por autores como Adhanom y Toshome (2016).

Para Brady y Weil (2002) los valores ideales de espacios porosos totales que son aceptables para la producción de cultivo se encuentran alrededor de 50%. En el perfil objeto de estudio, la porosidad no varió uniformemente con la profundidad del mismo y alcanzó en la mayoría de los casos valores superiores.

Según Aranda y Comino, (2014) la materia orgánica, es el factor esencial en la estabilización de los agregados del suelo, la infiltración de agua, la conservación de ciclos de nutrientes biogeoquímicos y el control de la erosión, lo cual genera un efecto favorable sobre las propiedades físicas del suelo. En el estudio aunque existen variaciones lógicas con la profundidad se evidencia el efecto positivo que sobre las

propiedades físicas tuvo las aplicaciones frecuentes de materia orgánica al suelo. Es de destacar que su efecto fue menos marcado sobre el índice de plasticidad el cual se considera muy plástico en la cubierta del suelo.

La variaciones de las propiedades químicas pueden ser observadas en la tabla 8, en el caso específico de la conductividad eléctrica (CE) no se observaron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, entre las diferentes profundidades del perfil. Aunque existieron diferencias cuantitativas entre los horizontes superiores (A y B1) y el resto (B2, B3, C) variando desde 0.025 – 0.026 dS m^{-1}. Resultados que coinciden con los obtenidos por Havlin *et al*. (1999) los cuales plantean que cuando la CE oscila entre 0.08 – 0.032 dS m^{-1} es considerada muy baja e implica que el suelo no es afectado por la concentración de sales.

Tabla 8. Propiedades químicas del perfil. Casa de cultivo 601, UEB Cultivo protegido y semiprotegido.

Horizonte	Prof. (cm)	pH (H_2O)	pH (KCl)	P (mg $100g^{-1}$)	MO (%)	CE (dS m^{-1})
Cubierta 1	0 - 18	6.63c	6.49b	7.54a	2.75a	0.026
H B 1	18 - 36	6.73bc	6.01c	1.33c	1.56b	0.026
H B 2	36 - 55	6.85b	5.81cd	1.16d	1.23c	0.025
H B 3	55 – 75	6.81b	5.62d	1.68b	1.18c	0.025
H C 1	75-110	7.55a	6.82a	0.00e	1.03d	0.025
EE (±)	**-**	**0.03**	**0.04**	**0.02**	**0.01**	**0.00**

Leyenda: **Prof.**- profundidad; **MO**- materia orgánica; **CE**- conductividad eléctrica; **P**- fósforo. Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD.

En el presente estudio la materia orgánica disminuyó con el aumento de la profundidad, alcanzado valores máximos de hasta 2.75 %, con diferencias significativas estadísticamente, que evidentemente están atribuidas a las aplicaciones de esta a razón de 15 kg $casa^{-1}$.

Por otra parte Sana *et al*. (2014) demuestran que la concentración de P presenta alta variabilidad a diferentes profundidades del suelo y que está condicionada al manejo antrópico, incluso mostrando divergencias según el método que se use para su análisis, como es reportado.

A diferencia de las propiedades físicas, el pH en agua y KCl aumentaron con la profundidad del perfil (Figura 4), manteniéndose en la categoría de neutro y cambiando de ligeramente neutro a neutro, respectivamente, según la categoría de clasificación de MINAGRI (1984), resultados que coinciden con los obtenidos por (Lopes 2016). Los resultados obtenidos están en concordancia con los obtenidos por autores como Buol *et al*. (2003) y Ayalew y Beyene (2012) quienes afirman que los incrementos de pH con la profundidad del perfil están asociados a la disminución de iones H^+ que ocurre con la disminución del contenido de la materia orgánica

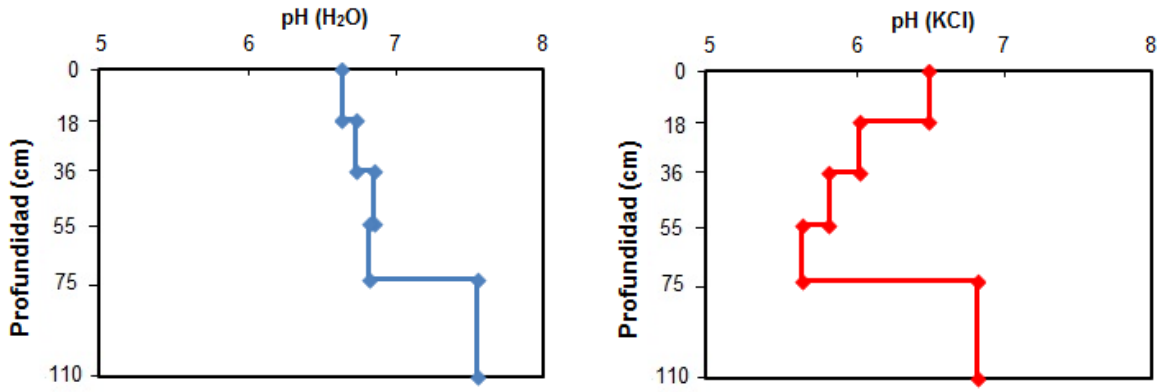


Figura 4. Variación de la acidez con la profundidad del perfil.

Varios autores han reportado que los cambios en el pH del suelo dependen de las propiedades de este, cobertura vegetal, deposición de materiales acidificantes y las condiciones climáticas (Dai *et al*. 1998; Boruvka *et al*. 2005; De Schrijver *et al*. 2006; Porębska *et al*. 2008). A pesar de que en la investigación no existe una vegetación permanente o espontánea, los resultados pudieran ser atribuibles a papel jugado por la materia orgánica aplicada.

Las diferencias en el pH han sido previamente atribuidas a las diferencias en la dinámica de la materia orgánica de suelo. Resultados que confirman lo planteado por Arévalo *et al*. (2015), los que afirman que el sistema de manejo tiene un efecto significativo en la materia orgánica del suelo principalmente a mayores profundidades.

De forma general, aunque los resultados evidenciaron cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, estos no se debieron significativamente a los efectos del

manejo, sino que son atribuidos a las características propias del suelo, principalmente en los horizontes inferiores.

4.3 Evaluación de la calidad del suelo y validación del diagrama propuesto

Los sistemas de manejo y labranza tienen por finalidad crear condiciones favorables en el suelo para un mejor desarrollo de los cultivos. No obstante, la aplicación de ellos sin tomar en consideración las condiciones edafoclimáticas del lugar, la naturaleza del cultivo y su manejo, pueden generar daños en la calidad del suelo que se traducen en la disminución de la productividad de los cultivos.

En el estudio fueron utilizados los indicadores de suelos propuestos Yera (2011). (Figuras 5), el cual plantea que para este tipo de suelo la calidad puede ser estimada mediante indicadores sensibles representados por los Agregados Estables, Factor de Estructura, Permeabilidad y Materia orgánica. La comparación entre el diagrama propuesto y los resultados obtenidos en el suelo dedicado a la producción de hortalizas (Figuras 6)

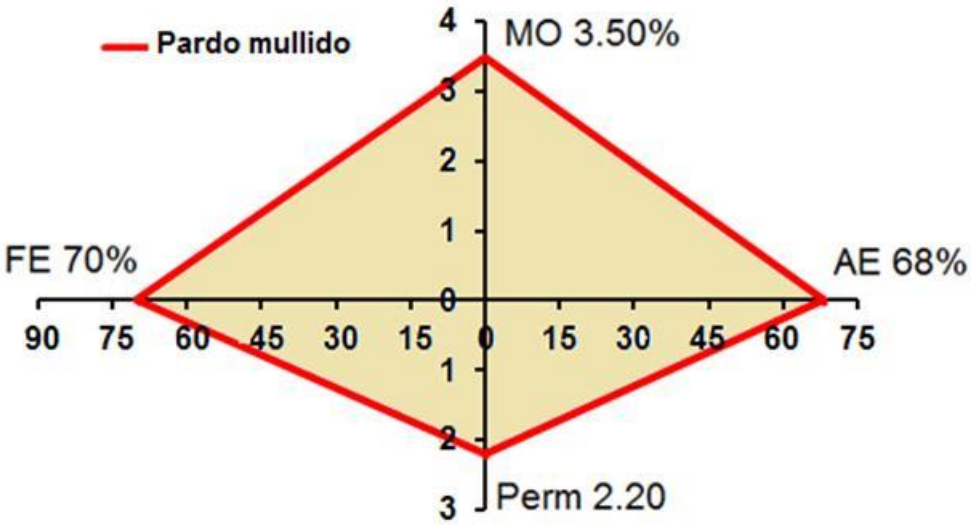


Figura 5. Diagrama de calidad propuesto para el suelo Pardo mullido medianamente lavado (Yera, 2011).

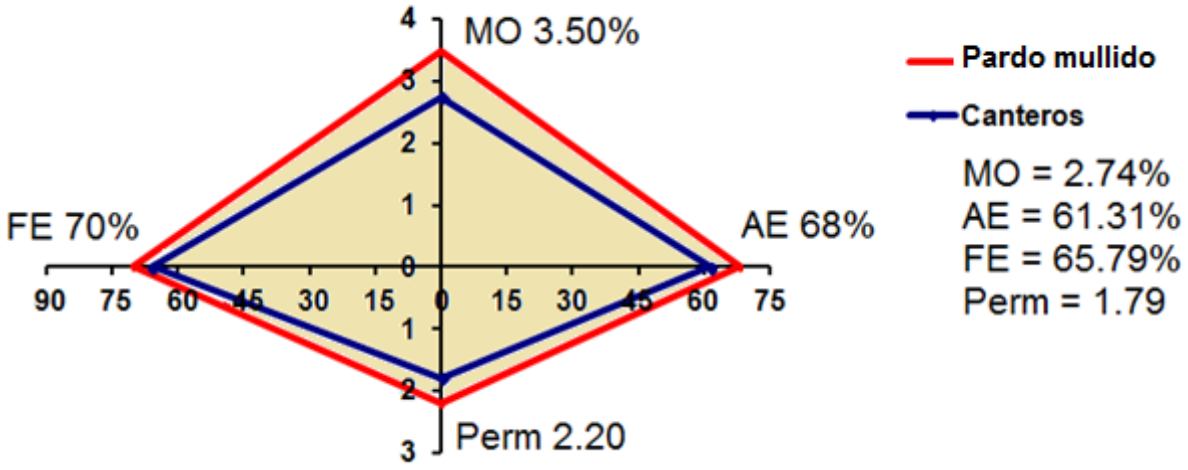


Figura 6. Comparación del diagrama de calidad propuesto con el suelo dedicado a la producción de hortalizas.

La comparación del diagrama propuesto con los valores de los indicadores obtenidos en el estudio, demuestra la tendencia de la calidad bajo el sistema de manejo establecido. Los indicadores físicos son lo que más se acercan a la calidad y de estos el de mejor resultado es el FE.

Es de destacar que aunque la materia orgánica no alcanza la cifra propuesta en el diagrama, faltando el 22% para alcanzar la calidad. Los resultados obtenidos pueden estar relacionados con la calidad de la materia orgánica empleada en el estudio, que aunque no se caracteriza, ha sido demostrado que puede influir en que se obtenga un humus de buena calidad que se traduce en buena estructura.

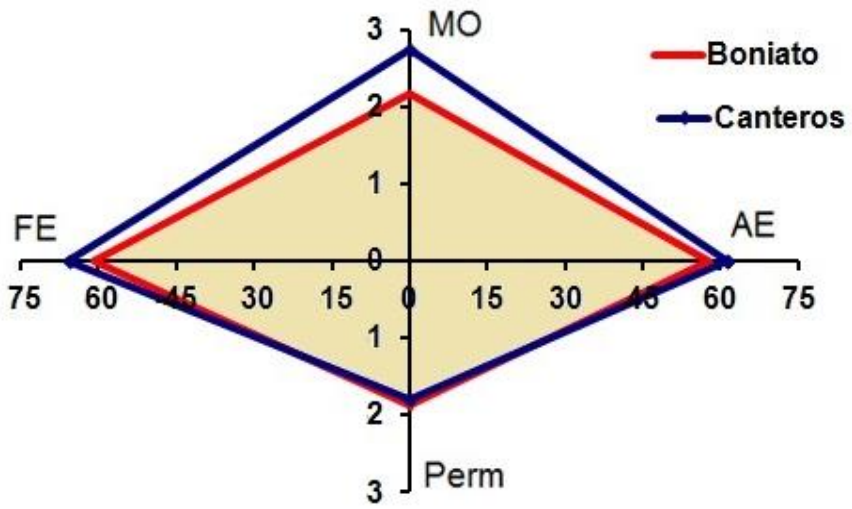
Lok *et al*. (2011), en estudios realizados en un pastizal establecido con leguminosas rastreras, observaron que al incrementarse el tiempo de explotación del sistema, la materia orgánica y la actividad biológica, disminuyó el índice de plasticidad, observándose mayor friabilidad y tiempo de tempero. Resultado que confirma lo expuesto por Andrade (2004), quien comprobó que el aumento y el balance de la materia orgánica, son esenciales para el mantenimiento y mejoramiento de las condiciones físicas del suelo.

Los resultados obtenidos confirman lo planteado por Colás, (2007) quien como resultado de la comparación entre el diagrama y los experimentos conducidos obtuvo que con la aplicación de las diferentes enmiendas se logra para todos los casos acercar al suelo a la calidad, se pone de manifiesto que con la aplicación de las enmiendas se originan cambios sensibles en el suelo y además que los indicadores propuestos permiten estimar el estado actual y las tendencias en la calidad del suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sostenibles.

Al comparar los resultados obtenidos en los indicadores de calidad de la casa con los diferentes sistemas de manejo (Figura 7 A y B). Para el sistema bosque aunque existe un bajo porcentaje de materia orgánica, las propiedades estructurales se ven favorecidas bajo este manejo, incrementando con respecto a las de la casa de cultivo en 23% en los AE y el coeficiente de permeabilidad y 29% el FE. Resultados que se pudieran explicar teniendo en cuenta que aunque la ,ateria orgánica fue baja, su calidad generó cambios favorables en las condiciones estructurales del suelo, unidos a las condiciones climáticas que se generan en el bosque y que pueden favorecer la obtención de humusde buena calidad. Los recultados corroboran lo planteado por Towhid (2013) el expone los beneficios del sistema bosque sobre fertilidad física del suelo.

Por lo contrario al comparar los resultados con el sistema de agricultura convencional, vemos como este en la mayoría de los indicadores está por debajo de los resultados obtenidos en el estudio, solo en el caso del coeficiente de permeabilidad se observan resultados superiores. Lo cual confirma que el manejo de suelo influye de forma directa en la calidad de suelo

A



B

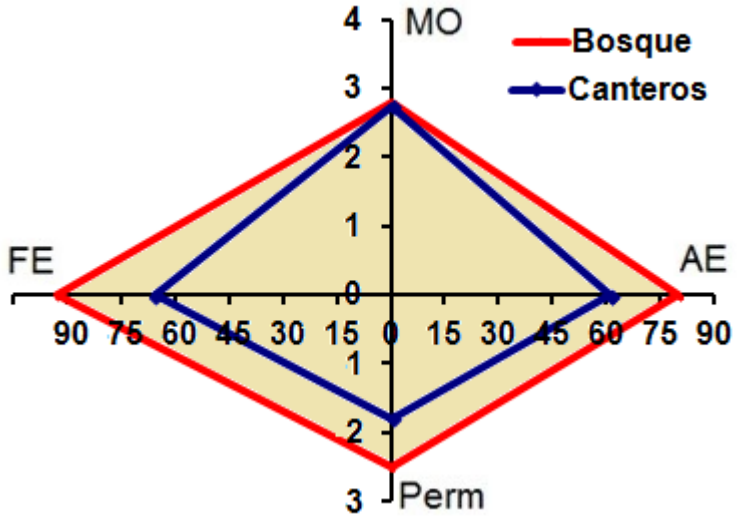


Figura 7. Comparación de los resultados obtenidos en la casa de cultivo con dos sistemas agrícolas.

Conclusiones

5. Conclusiones

1. Las propiedades físicas y químicas de suelo son favorables para el desarrollo del cultivo y son una evidencia de los efectos del manejo sobre el suelo estudiado.

2. Los propiedades químicas fueron más sensibles a los efectos del manejo, con CV muy alto (CV>50%) en el fósforo y moderado (25<CV<50%) en el resto de los indicadores.

3. En el perfil se evidenció una marcada diferenciación de horizontes y fuerte reacción al clorhídrico en el horizonte C, que confirma la presencia de un suelo Pardo mullido medianamente lavado.

4. La comparación del diagrama de calidad de suelo con los indicadores obtenidos en la casa de cultivo, evidencian los efectos del manejo sobre la calidad de suelo en estudio.

Recomendaciones

6. Recomendaciones

1. Variar la cantidad de materia orgánica a aplicar por canteros, en dependencia de la variabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo en la casa de cultivo.
2. Continuar investigaciones similares en las que se caracterice el efecto del manejo sobre la macro y microfauna del suelo.

Referencias Bibliográficas

7. Referencias bibliográficas

Adhanom, D y Thosome, T. (2016) Characterization and Classification of Soils of Aba-Midan Sub Watershed in Bambasi Wereda, West Ethiopia.

Álvarez, A., & Díaz, E. (2000). Caracterización de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Cauto. *Revista Electrónica Granma Ciencia*, *4*(2), 8-13.

Anderson, J.M. and Ingram, J.S.I., 1993. „Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of methods" 2nd edition. CAB International. Wallingford. *UK Google Scholar*.

Andrade Júnior, R. D. (2004). Propriedades físico-químicas de um solo em Recuperação e adaptação da Brachiaria decumbens. *Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista*.

Aranda, V., & Comino, F. (2014). Soil organic matter quality in three Mediterranean environments (a first barrier against desertification in Europe). *Journal of soil science and plant nutrition*, *14*(3), 743-760.

Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A., & Baligar, V. (2015). Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management systems of Cacao genotypes in Peruvian Amazon. *PloS one*, *10*(7), e0132147.

Arias, J. A. C. (2001) *Suelos tropicales, Ed.* Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José.

Armenta-Bojórquez, A. D., Baca-Castillo, G. A., Alcántar-González, G., Kohashi-Shibata, J., Valenzuela-Ureta, J. G., & Martínez-Garza, A. (2001). Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *7*(1), 61-75.

Aweto A. O. (1982) Organic matter and soil fertility restoration in forest and savanna fallows in southwestern Nigeria .pp 183–192.

Ayalew, A., & Beyene, S. (2012). Characterization of soils at angacha district in Southern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, *2*(1), 2224-3208.

Bautista, Z. F. y P. A. Gerardo. (2005) Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán, Ed. Universidad Autónoma de Campeche, México.

Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., González, P. J., & Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, *36*(2), 30-40.

Blum, W. (2005). Soils and climate change. *Journal of Soils and Sediments*, *5*(2), 67-68.

Blum, W. E. (2003). European soil protection strategy. *Journal of Soils and Sediments*, *3*(4), 242-242.

Boruvka, L., Mladkova, L., & Drabek, O. (2005). Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils. *Journal of inorganic biochemistry*, *99*(9), 1796-1806.

Bot, A., & Benitez, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production* (No. 80). Food & Agriculture Org..

Brejda, J. J., & Moorman, T. B. (2001). Identification and interpretation of regional soil quality factors for the Central High Plains of the Midwestern USA. *Sustaining the global farm*, 535-540.

Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C., & McDaniel, P. A. (2011). *Soil genesis and classification*. John Wiley & Sons.

Burrough, P. A. (1993). Soil variability: a late 20th century view. *Soils Fert.*, *56*, 529-562.

Cairo, P. (2006) Edafología Práctica. Libro. 150 p.

Carvalho-dos Santos, D., Rodrigues-de Lima, C. L., Nailto-Pillon, C., Filippini-Alba, J. M., Machado-da Rosa, C., & Oliveira-Farias, M. D. (2012). Distribución de la materia orgánica en clases de agregados en un Latosol Arcilloso Rojo bajo forestación y pastizal. *Agrociencia*, *46*(3), 231-241.

Chacón Iznaga, A. (2014). Vis/NIR spectroscopic measurement of selected fertility parameters of Cuban agricultural soils. Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor in Bioscience Engineering, 189 pp.

Chaveli, P. (2004). Impacto del manejo agrícola del suelo en casas de cultivo. In *Congreso Científico del INCA (14: 2004, nov. 9-12*.

Chen ZS, Hseu ZY. (1997) Total organic carbon pool in soils of Taiwan. Proc. National Science Council, ROC, Part B: Life Sciences.; 21:120–127.

Colás, A., 2007. *Selección de indicadores de calidad para un suelo Ferralítico Rojo Compactado* (Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV).

Condés, S., & Martínez-Millán, J. (2004) Comparación de inventarios mediante la simulación de muestreos sobre repoblaciones de P. sylvestris en la Sierra de Guadarrama. Ciudad Universitaria. Madrid.

CORTALC (2006) Conservación y rehabilitación de tierras en América Latina y el Caribe. Un Programa de acción Especial. Brasil: 28 p.

Corwin, D.L.; Lesch, S.M. 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity. Part II. Case study. Computers and Electronics in Agriculture 46: 135-152.

Dai, Z., Liu, Y., Wang, X., & Zhao, D. (1998). Changes in pH, CEC and exchangeable acidity of some forest soils in southern China during the last 32–35 years. *Water, Air, and Soil Pollution*, *108*(3-4), 377-390.

De la Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos: para un desarrollo rural sostenible (Contiene CD-Rom)*. Mundi-Prensa Libros.

De Schrijver, A., Mertens, J., Geudens, G., Staelens, J., Campforts, E., Luyssaert, S., ... & Verheyen, K. (2006). Acidification of forested podzols in North Belgium during the period 1950–2000. *Science of the Total Environment*, *361*(1-3), 189-195.

Díaz Rossello, R. (2003). Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*.

Doran, J. W. y Parkin, T. B. (1994) Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA, pp 1-20.

Fall, M. AB. (1998), “Know Your Soil Test Report”, Agribriefs Agronomic News Items No. 3.

FAO (2013) El manejo de los suelos en la producción de Hortalizas con buenas prácticas agrícolas. www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

FAO, (2009) Guía para la descripción de suelo. FAO, Roma Italia, 99 pp.

García-Álvarez, A., & Bello, A. (2004). Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. Memorias. In *I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost. León, España* (p. 211).

Garcıa-Préchac, F., Ernst, O., Siri-Prieto, G., & Terra, J. A. (2004). Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research*, *77*(1), 1-13.

Giraldo, S.; Mendoza, A. (2003) Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas de los lotes experimentales destinados a los cultivos de hortalizas en el CEUNP. 57p.

Harris, R. F., Karlen, D. L., & Mulla, D. J. (1996). A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. *Methods for assessing soil quality'.(Eds JS Doran, AJ Jones)(SSSA, Inc.: Madison, WI, USA)*.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (Vol. 515, pp. 97-141). New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Henríquez, C., & Cabalceta Aguilar, G. (2012). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola* (No. 631.4 H519g). Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo,.

Hernández, A., & Ascanio, J. P. Y. O. (1973). Génesis y clasificación de los suelos de Cuba. *Texto explicativo del mapa genético de suelos de Cuba, escala*, *1*(250), 000.

Hernández, A., & Tatevosian, G. (1979). *Contenido y distribucion del hierro libre y amorfo en los suelos pardos con carbonatos de Cuba*. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana (Cuba)..

Hernández, A., Vargas, D., Ríos, H., & Marentes, F. L. (2008). Características de los suelos y sus reservas de carbono en la finca la colmena de la Universidad de Cienfuegos, Cuba. *Cultivos Tropicales*, *29*(2), 27-34.

Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D., & Castro, S. N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. *Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA*.

Hernández, J. A.; G. M. O. Ascanio; Marisol Morales Díaz; R. A. Cabrera. (2005) Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. INCA. La Habana. Cuba. 62p.

Imas, P. (1999a, August). Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutihorticolas. In *XXII Congreso Argentino de Horticultura. Argentina*.

Imas, P. (1999b, February). Recent techniques in fertigation of horticultural crops in Israel. In *Workshop Presented at the IPI-PRII-KKV*.

Instituto de Suelos (2007) La actividad de conservación y mejoramiento de suelos. Mimeografiado. Ministerio de la Agricultura, 7 p.

Jaimez, E. S.; Guerra M.; Alcalde J. O.; Pérez B.; García A. R.; Campos M. D. (2003) Diagnóstico ambiental de los suelos de la cuenca de Ariguanabo. Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio, vol 4, pp 8 - 14, ISSN 1729-3790.

Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo.

Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. (1997) Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:4–10.

Lal, R., 2009. Sequestering carbon in soils of arid ecosystems. *Land Degradation & Development*, *20*(4), pp.441-454.

Liebig, M. A., Varvel, G. E., Doran, J. W., & Wienhold, B. J. (2002). Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Science Society of America Journal*, *66*(2), 596-601.

Lok, S., & Fraga, S. (2011). Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de Leucaena leucocephala/Cynodon nlemfuensis con ganado vacuno en desarrollo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *45*(2).

Lopes, A. R., Faria, C., Prieto-Fernández, Á., Trasar-Cepeda, C., Manaia, C. M., & Nunes, O. C. (2011). Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(1), 115-125.

Lopes, E. (2016) Estructura y calidad de suelos Pardo mullido medianamente lavado y Pardo vértico medianamente lavado, en la provincia Villa Clara. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Agricultura Sostenible. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Más Martínez, R. (2008). *Manejo sostenible de la subcuenca Ranchuelo en la cuenca hidrográfica Sagua La Grande* (Doctoral dissertation, Universidad Central´´ Marta Abreu´´ de Las Villas).

MINAGRI, (1984) Folletos elaborados por la 1ra Reunión Nacional de clasificación de suelos.

Morales, M., Hernández, A., Vantour, A., & Garea, E. (2005). Propuesta de nuevo horizonte a en el diagnostico de los suelos Pardos (Cambisoles) de Cuba. *Cultivos Tropicales*, *26*(3).

Murray, R. M., Orozco, M. G., Hernández, A., Lemus, C., & Nájera, O. (2014). El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, *18*(1).

National Resource Conversation Soil (NRCS). (2004) What is soil quality ?. United States Departament Agriculture. http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/ visitado el 2/12/04.

NRAG 279, (1980), Suelos, Análisis químico, Reglas generales, Ministerio de la Agricultura, Dirección de normalización, metrología y control de calidad, 60 p,

Obando Moncayo, F. H., Villegas Hincapié, A. M., Betancur, J. H., & Echeverri Tafur, L. (2006). Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un Typic Udivitrands, arenoso de la región andina central colombiana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, *59*(1).

Ortega, F.S.; G. Hernández; E.S. Jaimez (2010.) Efecto del tránsito climático hacia el holoceno sobre el carácter de los suelos pardos de Cuba. Revista del Jardín Botánico Nacional, v. 30-31: 153-157.

Ortega, R., Flores, L., INIA, C. Q., de Recursos Naturales, D., & Ambiente, M. (1999). Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico. *Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu.(Chile)*, 13-46.

Osman, K. T. (2013). *Forest soils: properties and management*. Springer Science & Business Media.

Porębska, G., Ostrowska, A., & Borzyszkowski, J. (2008). Changes in the soil sorption complex of forest soils in Poland over the past 27 years. *Science of the total environment*, *399*(1-3), 105-112.

Puget, P., Chenu, C., & Balesdent, J. (2000). Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science*, *51*(4), 595-605.

Quintero G. (2000). Suelos. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación.

Ramírez, M. (2004). Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. *Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia*.

Ríos, H. (2010). *Manejo ecológico de los suelos Pardos Grisáceos, experiencia de veinte años*

Rodríguez, I. (2007) El cultivo continuado de la caña de azúcar y su influencia sobre algunas propiedades químicas de un suelo Pardo Sialítico, bajo diferentes regímenes de cobertura y fertilización. (Tesis en opción al título en Master en Ciencias en Agricultura sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba).

Sana, R. S., Anghinoni, I., Brandão, Z. N., & Holzschuh, M. J. (2014). Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. Vol. 18, n. 10 (out. 2014), p. 994-1002*.

Sultana, S. (2011). Effects of organic amendment on soil quality as assessed by biological indicators.

Towhid, K. (2013) Forest soil properties and management, 211pp. Editorial Springer, Dordrecht.

Vandermeer, J. (2011). *The ecology of agroecosystems*. Jones & Bartlett Learning.

Vicente, C. (2003) Origen de la materia orgánica 30 p.

Villegas, R. (1995). *Cuba: brown calcareous reference soils derived from limestone*. ISRIC/Instituto Nacional de Investigaciones de la Cana de Azucar.

Yera, Y. (2011) Evaluación del impacto ambiental de *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland en un suelo Pardo mullido carbonatado. Tesis para optar al título académico de Máster en Agricultura Sostenible. Santa Clara (Cuba): Universidad Central de Las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 54p.

Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, *1*(1), 173.

Anexos

8. Anexos

Anexo 1. Sistema de notación Munsell y atributos cromáticos en húmedo y seco.

Atributos	Suelo 1		Suelo 2	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Pardo oscuro Amarillo 10YR4/6	Amarillo 10YR7/6	Amarillo pálido 2.5Y7/3	Amarillo pálido 2.5Y8/2
L*	42.36	48.60	71.59	83.32
a*	15.23	13.82	6.02	3.57
b*	28.15	29.08	19.25	14.02
Color				

Atributos	Suelo 3		Suelo 4	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Pardo olivo claro 2.5Y5/3	Gris pardo claro 2.5Y6/2	Pardo oscuro 7.5YR3/2	Gris 7.5YR5/1
L*	51.95	61.89	34.09	49.66
a*	4.62	3.35	6.92	4.14
b*	17.23	14.37	5.76	4.15
Color				

Atributos	Suelo 9		Suelo 10	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Amarillo olivo 2.5Y6/8	Amarillo 2.5Y7/6	Amarillo pálido 5Y7/3	Olivo pálido 5Y6/3
L*	58.27	65.78	57.80	67.51
a*	8.38	6.05	3.13	2.41
b*	31.40	25.60	22.63	18.93
Color				

Atributos	Suelo 11		Suelo 12	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Amarillo pálido 2.5Y8/3	Amarillo 2.5Y8/6	Gris claro 5Y7/2	Amarillo pálido 5Y7/3
L*	67.45	78.82	62.66	68.98
a*	6.75	4.45	0.29	0.21
b*	28.93	22.42	19.19	14.39
Color				

Atributos	Suelo 5		Suelo 6	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Amarillo pálido 5Y8/4	Amarillo pálido 5Y8/3	Pardo rojizo oscuro 2.5YR5/3	Pardo rojizo oscuro 2.5YR3/4
L*	70.89	77.29	28.44	34.16
a*	0.88	0.69	13.68	11.90
b*	22.05	14.00	13.61	12.03
Color				

Atributos	Suelo 7		Suelo 8	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Olivo oscuro grisáceo 5Y3/2	Olivo grisáceo 5Y4/2	Pardo fuerte 7.5YR2.5/3	Pardo oscuro 7.5YR3/2
L*	28.51	38.57	28.63	35.60
a*	3.59	3.13	9.76	7.95
b*	10.67	10.07	12.27	10.35
Color				

Atributos	Suelo 13		Suelo 14	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Pardo amarillo claro 10YR6/4	Pardo amarillo 10YR5/8	Rojo pálido 2.5YR7/2	Rojo débil 2.5YR5/2
L*	53.52	59.24	53.06	72.38
a*	13.32	10.85	8.75	5.51
b*	38.15	32.53	10.84	8.46
Color				

Leyenda: Luminosidad: L* (negro = 0, blanco = 100), coordenadas de cromaticidad: a* (rojo > 0, verde < 0), b* (amarillo b* > 0, azul b* < 0). **Fuente**: Domínguez et al., 2012.

Anexo 2. Categorías de evaluación de algunas propiedades físicas y químicas del suelo

Materia Orgánica (%)	Categoría
<1.5	Muy bajo
1.5 – 3.0	Bajo
3.1 – 5.0	Mediano
> 5.0	Alto

Fuente: López *et al*. (1981)

Coef. Perm. (log 10k)	Categoría
2.00 – 2.50	Excelente
1.50 – 2.00	Adecuado
1.00 – 1.50	Regular
< 1.00	Malo

Leyenda: Coef. Perm.- Coeficiente de Permeabilidad. **Fuente:** Cairo, (2006)

Factor de estructura (%)	Categoría
80 – 100	Excelente
65 – 80	Bueno
55 – 65	Regular
< 55	Malo

Fuente: Cairo, (2006)

Agregados estables en agua (%)	Categoría
> 70	Excelente
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
< 40	Malo

Fuente: Cairo, (2006)

pH (KCl)	pH (H_2O)	Categoría
< 3.5	< 5.0	Muy ácido
3.5 – 4.5	5.0 – 5.5	Ácido
4.6 – 5.5	5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
5.6 – 6.0	6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.1 – 7.0	6.6 – 7.5	Neutro
7.1 – 8.0	7.6 – 8.0	Ligeramente alcalino
8.1 – 8.5	8.1 –8.5	Moderadamente alcalino
> 8.5	> 8.5	Alcalino

Fuente: López *et al*. (1981)

LSP (% hbss)	LIP (% hbss)	IP	Categoría
< 50	< 20	< 15	No plástico
50 – 70	20 – 35	15 – 30	Ligeramente plástico
70 – 90	35 – 50	30 – 45	Plástico
> 90	> 50	> 45	Muy plástico

Leyenda: LSP- Límite superior de plasticidad; LIP-Límite inferior de plasticidad; IP- Índice de plasticidad, **Fuente**: López et al. (1981).