Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

Incidencia del uso y manejo del suelo sobre algunas propiedades físicas y químicas en agroecosistemas de Santa Clara

Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo

Diplomante:

Yadner Montelier Jiménez

Tutores:

Dr. C. Edith Aguila Alcantara

MSc. Héctor Pablo Hernández Arboláez

Santa Clara, 2017

Dedicatoria

A mi querida madre

y a todas aquellas personas

que día a día me motivaron y

me dieron las fuerzas para salir adelante.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mis profesores guía Dr.C. Edith Aguila Alcantara y MSc. Héctor Pablo Hernández Arboláez, quienes me apoyaron para desarrollar este trabajo entregando sus conocimientos y ayuda necesaria para concluirlo.

A la profesora Yanetsy Ruiz González quien entrego importantes conocimientos para desarrollar gran parte de este trabajo, además de realizar críticas constructivas para una mejor calidad.

En general a mis profesores quienes fueron los encargados de entregarme sus conocimientos para mi formación personal y profesional.

Al personal del Laboratorio de Suelos de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, por la ayuda prestada para desarrollar los análisis de suelos.

A mis compañeros de carrera, con quienes compartí tantos momentos de estudio y esparcimiento. En especial a Orlexys del Rio López, quien con el tiempo se transformó además en un muy buen amigo.

A mis amigos de toda la vida Alejandro Santos, Yalimay Beitia, Jorge Luis Padrón, Yasmany Limas, Julio Cesar Pena y Kendry Duardo, quienes han estado siempre conmigo apoyándome y entregándome las fuerzas necesarias para lograr este y los objetivos que me he propuesto.

A mi Familia hermosa familia, en especial a mi hermana Yadnelis Montelier Jiménez y quien ya no está conmigo, pero estaría muy orgullosa de este importante paso que estoy dando.

Mención especial a la Sra. Mariley Jiménez Madrigal quien ha sido un pilar fundamental en esta etapa, acompañándome incondicionalmente en este difícil camino.

Resumen

Para evaluar el efecto del uso y manejo actual, así como la influencia del uso precedente sobre indicadores físicos y químicos del suelo, se seleccionaron 34 sitios para el presente estudio del municipio Santa Clara, provincia Villa Clara, Cuba. Estos se localizaban sobre suelos Pardos mullidos medianamente lavados y se distribuyen en 7 sistemas agrícolas (dos y tres campos por sitio para un total de 31 campos), un sistema natural, un área de pasto y un área de marabú. En cada sitio se tomaron 4 muestras de suelo a 20 cm de profundidad y se caracterizó el uso y manejo actual y su uso precedente. Se realizaron análisis de indicadores físicos (densidad aparente, permeabilidad, factor estructura, agregados estables) y químicos (pH-H_2O, pH-KCl, P Olsen, materia orgánica) a las muestras de suelo. El procesamiento estadístico se realizó empleando el paquete STATGRAPHICS Plus Versión 5.0 sobre Windows 10. Los resultados evidenciaron que las diferencias en densidad aparente, permeabilidad, y factor estructura se debían al efecto del manejo actual. Dentro de los grupos, el uso precedente no influyó sobre el factor estructura. Todos los indicadores químicos, mostraron diferencias significativas como efecto del manejo actual pero el uso previo influyó solamente en el contenido de fósforo y de materia orgánica. Aunque el manejo actual del suelo tuvo mayor influencia sobre las propiedades del suelo estudiadas que el uso pasado, este último influyó en la dispersión de los resultados por lo que debe continuar profundizándose en esta línea de investigación.

INDICE

1. Introducción 1

2. Revisión bibliográfica 3

2.1. El suelo: definiciones y composición 3

2.2. Los suelos Pardos Sialíticos de Cuba y el tipo Pardo 4

2.3. Calidad del suelo 5

2.4. Indicadores de calidad del suelo 5

2.4.1 Indicadores físicos del suelo 7

2.4.2 Indicadores químicos del suelo 8

2.5. La agricultura y su influencia sobre las propiedades del suelo 8

2.5.1 Influencia de los residuos orgánicos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo 8

2.5.2. Prácticas agrícolas y sus efectos sobre las propiedades del suelo ... 9

3. Materiales y métodos 12

3.1. Localización del experimento 12

3.2 Caracterización de las áreas de estudio 12

3.3. Muestreo de campo 14

3.4. Análisis de los indicadores físicos 14

3.4.1. Densidad Aparente 14

3.4.2. Factor de estructura 15

3.4.3. Coeficiente de Permeabilidad 15

3.4.4. Agregados Estables 15

3.5 Análisis de los indicadores químicos 15

3.5.1. pH en H_2O y en KCl 15

3.5.2. Materia Orgánica 16

3.5.3. Fósforo 16

3.6. Procesamiento estadístico 16

4. Resultados y Discusión 17

4.1. Efecto del manejo sobre indicadores físicos del suelo en sistemas agrícolas de Santa Clara 17

4.2. Evaluación de los indicadores químicos de los suelos en los ecosistemas estudiados 19

4.3. Efecto del uso precedente de la tierra sobre los indicadores físicos y químicos en agroecosistemas de Santa Clara 22
3.4. Agrupamiento de las áreas seleccionadas según los indicadores evaluados (Análisis por Cluster) 27
Conclusiones 30
Recomendaciones 31
Bibliografía .....
Anexos .....

1. Introducción

Las propiedades químicas y físicas que caracterizan un suelo, y que influyen en su fertilidad, se encuentran determinadas por el tipo de material geológico que lo origina, la cubierta vegetal, la topografía y cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo, además de las condiciones climáticas que actúan normalmente en la interacción (Cabrera, 2014). Sin embargo, estas propiedades pueden ser modificadas positiva o negativamente por cualquier disturbio frecuente que afecte al suelo.

La agricultura implica un conjunto de actividades que se realizan sobre el suelo, como las labores de preparación del suelo, la fertilización, las labores de cultivo, entre otras; que si no se manejan adecuadamente, pueden conllevar a la degradación de este recurso natural de vital importancia para la actividad agrícola. Por ende, en todos los tipos de agricultura que se practican en la actualidad, el manejo del suelo es un eje central de la producción agrícola. En consecuencia, las prácticas agrícolas empleadas podrán favorecer la conservación de este recurso natural o mejorar su fertilidad, o en el caso contrario, acelerar su degradación.

La calidad del suelo como concepto amplifica a los conceptos anteriores de fertilidad y salud del suelo, aunque en ocasiones han sido utilizados como equivalentes pero que no son sinónimos (Bautista *et al.,* 2004). Para evaluarla se han empleado tradicionalmente los indicadores físicos y químicos, seleccionados en dependencia del enfoque del estudio que se realiza (Yang *et al.,* 2006).

Las afectaciones para el desarrollo de las plantas generadas por la compactación del suelo, costra superficial, impermeabilización, reducción drástica de los nutrientes y disminución de la materia orgánica son problemas comunes cuando se emplean sistemas convencionales de producción. Se trata de buscar alternativas sostenibles que eviten la degradación de un recurso natural renovable tan importante como lo es el suelo (Cairo y Fundora, 1994).

Otras formas de agricultura como la orgánica, de conservación, biodinámica, entre otras; buscan mantener el suelo en óptimas condiciones físicas y químicas mediante prácticas apropiadas que imitan en lo posible a la naturaleza evitando araduras muy profundas, el uso excesivo de maquinarias pesadas y el uso de agroquímicos (Kolmans y Vásquez, 1996).

En nuestro país coexisten actualmente prácticas agrícolas convencionales con alternativas que provenientes de la agricultura orgánica y otras tendencias ya mencionadas, conocida como “agricultura agroecológica” y practicada por productores privados en fincas relativamente pequeñas. Algunos estudios realizados desde esta perspectiva demuestran diferentes estados de calidad en suelos Pardos mullidos medianamente lavados del municipio Santa Clara (McCune *et al.,* 2011; Ruiz *et al.,* 2013; Aguila *et al.,* 2016). A su vez, Deroo (2016) encontró que los usos previos y no sólo el manejo actual podrían influir en el estado de las propiedades de estos suelos.

Problema

¿Qué efecto tienen sobre los indicadores físicos y químicos del suelo las prácticas de manejo actuales y hasta dónde influiría el uso precedente en el estado actual?

Hipótesis

El estado de las propiedades físicas y químicas del suelo no está solamente influenciado por el manejo actual del mismo, sino también por los usos previos que han tenido dichas áreas agrícolas.

Objetivo general

Evaluar el efecto del uso previo y el manejo actual del suelo sobre indicadores físicos y químicos en agroecosistemas del municipio Santa Clara localizados en suelos Pardos mullido medianamente lavados.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del uso previo y del manejo actual del suelo sobre indicadores físicos en suelos Pardos mullido medianamente lavados de Santa Clara.
2. Evaluar el efecto del uso previo y del manejo actual del suelo sobre indicadores químicos en suelos Pardos mullido medianamente lavados de Santa Clara.
3. Valorar la influencia del uso previo y el manejo actual sobre las propiedades del suelo en los agroecosistemas seleccionados.

2. Revisión bibliográfica

2.1. El suelo: definiciones y composición

El suelo es un sistema auto-organizado y heterogéneo que posee una gran complejidad estructural y funcional, debido a la gran diversidad de sus componentes (abióticos y bióticos), y a los procesos que tienen lugar en su seno. Como todo sistema, evoluciona en el tiempo condicionado por factores ambientales que están presentes en un escenario concreto y en general, en los suelos de cultivo, mantiene una dinámica determinada por un sistema de uso impuesto por condiciones socioeconómicas y culturales (Silva, 2007).

Gasco-Montes (1998) lo define como un ente natural que se forma mediante procesos de alteración de los minerales meteorizables, evolución de las materias orgánicas humificables, estructuración de las partículas agregables y migración de algunos componentes finos o de iones desplazables. En definitiva, un medio vivo y dinámico, en el cual se libra un dialogo biológico complejo entre plantas, organismos y el medio mineral que los acoge.

Respecto a su constitución general puede decirse que su proporción ideal oscila entre 45-48 % de partículas minerales, 5-2 % de materia orgánica, 25 % de agua y 25 % de aire (Sánchez, 2007). Sin embargo, en la práctica estas proporciones ideales pueden sufrir variaciones como reflejo de la evolución, grado de interperismo y desarrollo que ha tenido un suelo. Por ejemplo, un típico suelo de pradera (Molisol) puede contener 5 a 6 % de MO en los 15 cm superiores, mientras que un suelo arenoso posee aproximadamente 1 %. Por su parte, un suelo pobremente drenado a menudo tiene contenidos de MO próximos al 10 % o más, mientras que los suelos tropicales Oxisoles son conocidos por sus bajos contenidos de MO (Silva, 2007).

La compleja integración de los recursos naturales primarios (suelo, agua y vegetación), es vital para el mantenimiento de las funciones y productividad de los ecosistemas terrestres. Siendo por muchos años la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas los métodos más comunes para medir la calidad de los suelos agrícolas logrando explicar de forma clara la complejidad de las interacciones existentes en los agroecosistemas (Calero, 1999; Font *et al*,. 2002; Guillen *et al.,* 2006).

2.2. Los suelos Pardos Sialíticos de Cuba y el tipo Pardo

La Clasificación de Suelos de Cuba (Hernández *et al.,* 2015) explica que los suelos que se forman por el proceso de sialitización poseen un horizonte principal siálico y pertenecen al agrupamiento Pardos Sialíticos. Estos suelos son suelos de perfil ABC, de mediano a poco profundos, formados sobre cualquier tipo de roca. Dentro del Grupo se separan dos Tipos genéticos de suelos; Pardos, formados sobre cualquier tipo de roca excepto los que están formados sobre roca ígnea ácida que corresponde con el Tipo genético Pardo Grisáceo.

Según estos autores estos suelos presentan un horizonte B con las características siguientes:

- 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 de 30 cmol kg^{-1} en arcilla

- Contenido en hierro libre menor de 3 % y del hierro libre con relación al total menor de 40 %

El tipo genético de suelo Pardo se caracteriza por suelos de perfil ABC, formados bajo proceso de sialitización con textura que va desde franco a arcillosa. Tienen un horizonte B siálico, que caracteriza el grupo de suelos. De este Tipo genético se presentan numerosas variantes de subtipos, desde los más ácidos en regiones montañosas, formados de rocas ígneas, hasta los formados en regiones más secas con carbonatos secundarios que representan el horizonte normal cálcico. Tienen una capacidad de intercambio catiónico mayor de 30 cmol kg^{-1} en arcilla, contenido en hierro libre menor de 3 %. Los Subtipos de suelos están dados por la presencia de horizonte mullido, de horizonte húmico, características eslíticas, características vérticas, presencia de horizonte cálcico, propiedades gléyicas por debajo de 50 cm de profundidad, evolución agrogénica o erogénica (Hernández *et al*., 2015).

2.3. Calidad del suelo

El concepto de calidad del suelo puede tener diferentes significados dependiendo del contexto, ya sea científico o social. Para algunos sugiere una relación ética o emocional con la tierra, para otros la calidad del suelo es una integración de los procesos del suelo y proporciona una medida del cambio de las condiciones del mismo y está relacionada a factores tales como el uso de la tierra, los patrones climáticos, las secuencias de cultivos y los sistemas de labranza (Doran y Parkin, 1994).

La calidad del suelo es la capacidad del mismo para cumplir varias funciones y se puede representar por una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas que a su vez promueven un medio para el crecimiento de las plantas y para la actividad biológica, regulan el flujo y el almacenamiento del agua en el ambiente y sirven como buffer en la formación y destrucción de compuestos ambientalmente riesgosos (Wilson *et al.,* 2008), funcionando dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua y sostener la salud humana. Actualmente, calidad del suelo como concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas a través de un conjunto de funciones y servicios que brinda; entre los cuales sobresalen sostener la producción de biomasa, provisión de hábitat, contribuir al flujo de energía y materiales en los ecosistemas mediante la transformación, filtración, amortiguación y reciclaje de estos, y mantener la salud de plantas, animales y del hombre, entre otros (Doran y Parkin, 1996; Karlen *et al.,* 1997; Ruiz *et al.,* 2013).

En lo relacionado con la producción de cultivos, las funciones del suelo están orientadas en alimentar y mantener el crecimiento de las plantas. Estas funciones están asociadas a la eficiencia con que el suelo suministra nutrientes esenciales y el ambiente necesario para lograr la conversión del dióxido de carbono usando la energía de la luz solar (vía fotosíntesis) (Wilson *et al.,* 2008).

2.4. Indicadores de calidad del suelo

Dumanski (1994) sostiene que es necesario contar con descriptores que representen fielmente los cambios y tendencias (indicadores), los cuales deben ser usados para monitorear y evaluar los programas, pero que dichos descriptores

no pueden ser un grupo seleccionado para cada situación particular, sino que debe ser idéntico en cada caso, con el propósito de poder hacer comparaciones a nivel nacional e internacional, que sean válidas.

Los indicadores son instrumentos de análisis que nos permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Estos se aplican a muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc) (Bautista *et al.,* 2004).

Un indicador describe un proceso específico o un proceso de control; por lo tanto, son particulares a los procesos de los que forman parte. Algunos indicadores o propiedades para ciertos sistemas pueden ser inapropiados para otros; por esta razón, no existe una lista de indicadores universales (Blakkes *et al.,* 1994). Por ejemplo, a escala comunitaria el indicador tasa de desforestación podría describir indirectamente el proceso de deterioro del suelo, pero en la escala de parcela este indicador no diría mucho, por lo que sería más conveniente utilizar el nivel de erosión o la cantidad de materia orgánica del suelo.

En la selección y elaboración de indicadores es necesario definir un modelo que permita estructurar información muy diversa y dispersa. Los indicadores son un punto medio entre la exactitud científica y la demanda por información concisa, con tal de simplificar las relaciones complejas que se presentan entre las actividades económicas, las necesidades humanas y el medio natural (Casas *et al.,* 2001).

Los indicadores deben permitir medir cambios de las características del sistema en el periodo considerado para la evaluación. Por ejemplo, parámetros que prácticamente no cambian con el tiempo, como el porcentaje de arcilla en el suelo, no pueden usarse como indicadores. En cambio, variables como el porcentaje de cobertura vegetal o el contenido de materia orgánica, si cambian con el tiempo y reflejan procesos como la erosión o la capacidad de retención de agua, por lo que pueden resultar buenos indicadores (Blakkes *et al.,* 1994).

También los indicadores de calidad del suelo pueden estar constituidos por una sola variable, como comúnmente lo entendemos, pero también por la relación entre variables como el índice de estructura del suelo; es decir, un índice también puede ser un indicador (Oleschko *et al.,* 1993).

Como definición de indicadores de calidad del suelo, se han propuesto propiedades físicas y químicas, procesos y medidas que pueden ser medidas para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (SQI, 1996).

2.4.1 Indicadores físicos del suelo

Los indicadores físicos de calidad del suelo son propiedades que pueden ser medidas cualitativa o cuantitativamente y que proveen pistas acerca de que tan adecuadamente un suelo funciona. De modo que los mejores indicadores serán aquellas propiedades que influyan significativamente sobre la capacidad del suelo para proveer cada función (Wilson *et al.,* 2007).

Las propiedades físicas de los suelos no son estáticas sino que varían con el tiempo debido a factores que determinan su formación como el clima, el material parental, los organismos que lo habitan, las actividades humanas, etc. Dichos cambios sobre el suelo se producen de manera progresiva en el tiempo (García, 2015). Por lo tanto, no existe una sola medida física para valorar el estado de salud y calidad de un suelo (Doran, 2002).

Según Singer y Ewing (2000), las características físicas del suelo pueden ser descritas por algunos indicadores cómo densidad aparente, infiltración, porosidad, estructura, características de los agregados, etc. que influyen sobre diversos fenómenos como: el transporte de agua, nutrientes y aire, así como en la estimulación de procesos realizados por los microrganismos e invertebrados del suelo. Adicionalmente regula la emersión de las plántulas, la penetración de las raíces e influye en los procesos de erosión. La calidad física del suelo se fundamenta en el mantenimiento de un estado de agregación grumoso y biodinámico (la bioestructura), que está estrechamente asociada a la arcilla y su tipo, a la existencia de hierro y aluminio, cationes alcalino-térreos, y en lo fundamental a la presencia de materia orgánica, los microorganismos y demás organismos vivos; donde se puede expresar la mejor aptitud del suelo para poner a disposición de las plantas los nutrientes potencialmente disponibles (Cabrera *et al.,* 2000).

En las condiciones de la región central de Cuba se han realizado diversos estudios enfocado a la selección de indicadores físicos que permitan identificar y evaluar cambios en la calidad del suelo causados por las diferentes prácticas y

manejos agrícolas. Entre los indicadores físicos propuestos y seleccionados están la permeabilidad, el factor estructura y los agregados estables (Colás, 2007; Ríos, 2010; Rodríguez, 2010).

2.4.2 Indicadores químicos del suelo

Los indicadores químicos de calidad del suelo, según Dick *et al.,* (2010), sirven de guía para el manejo sostenible de las tierras, determina el grado de degradación de los suelos, su condición para el crecimiento óptimo de los cultivos e identifica las enfermedades restrictivas del suelo. Además reconoce el efecto de la bio-remediación en suelos contaminados y la medida de la severidad de la contaminación del medio ambiente.

Arshad y Martin (2002), definieron un indicador químico de suelo como una propiedad medible que influye en la capacidad del suelo para realizar funciones de producción agrícola. Son variables que agregan o simplifican información relevante, hacen visibles o perceptibles fenómenos de interés y cuantifican, miden y comunican la mayor diversidad de situaciones posibles (Gallopin, 1997).

Una buena selección de indicadores de calidad del suelo permite una rápida respuesta al cambio, clara discriminación entre los sistemas de manejo, mayor sensibilidad al estrés y a la restauración ambiental (Gil-Stores *et al.,* 2005).

Las principales funciones de los indicadores son evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Cantú *et al.,* 2007).

Entre los indicadores químicos mayormente empleados en Villa Clara como indicadores de la calidad y fertilidad de los suelos se encuentran el pH, el contenido de materia orgánica, la disponibilidad de nutrimentos como el fósforo y el potasio (Colás, 2007; Rodríguez, 2010; Ríos, 2010; McCune, 2011).

2.5. La agricultura y su influencia sobre las propiedades del suelo

2.5.1 Influencia de los residuos orgánicos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo

La agricultura sostenible y el encarecimiento de los fertilizantes minerales, han propiciado un gran empleo de los abonos orgánicos en la agricultura, lo cual se

debe a sus grandes posibilidades como mejoradores de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como portadores de macro y micro elementos esenciales (Pérez, 1997).

El mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, constituyen un elemento muy importante en defensa de una agricultura sostenible (Primavesi, 1990; Mann y Tollbert, 2000).

Murray *et al.,* (2011) plantean que mientras la relación MO con la densidad aparente se ve reflejada en su estructura, mientras está se ve favorecida en la medida que los sistemas con cobertura tienen aportes anuales de hojarasca suficiente como para modificar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mediante un incremento de la materia orgánica en la superficie y en el subsuelo.

La sustitución de fertilizantes minerales por abonos orgánicos permite aumentos productivos sostenibles económicamente, reducen la contaminación del suelo y del manto freático y favorecen las condiciones para el desarrollo de la biota del suelo y sus propiedades hidrofísicas y químicas (Pérez *et al.,* 2007).

Se ha reportado que los suelos tropicales bajo vegetación forestal muestran contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total significativamente más altos que los suelos con vegetación tropical de sabana en una profundidad de 0 – 15 cm; mientras que la relación carbono nitrógeno es más baja en los primeros que en los segundos (Cairo y Fundora, 2005). La materia orgánica contribuye a aumentar sensiblemente la porosidad (la cual es un resultado de la textura, estructura y la actividad biológica del suelo), es decir, son los suelos ricos en elementos coloidales los que tienen la mayor porosidad, siendo este uno de los principios de determinación de la estabilidad estructural, junto a los agregados estables, debido a su alto contenido de materia orgánica y la presencia de hierro o calcio.

2.5.2. Prácticas agrícolas y sus efectos sobre las propiedades del suelo

En el desarrollo de la agricultura es necesario lograr una estabilidad en el ciclo biológico clima-suelo-planta obteniendo los máximos beneficios de los recursos disponibles para proteger y conservar el medio ambiente (Cairo *et al.,* 1996).

El laboreo continuo e intensivo y el uso de monocultivos en áreas agrícolas traen como consecuencia la degradación acelerada de los suelos; ya que el uso intensivo de los suelos provoca cambios en sus propiedades llegando afectar la capacidad productiva a través de su influencia sobre la vegetación y tipos de usos posibles en la agricultura (Cairo y Fundora, 1994).

Durán (1998) al realizar una revisión sobre el manejo ecológico de los suelos tropicales, señala que la temperatura siempre se mantiene elevada en los trópicos y por lo general, los promedios diarios están por encima de los 20º C, a lo que se une una alta radiación solar, elemento que ejerce una acción degradativa natural sobre el recurso suelo, que se incrementa cuando estos permanecen descubiertos por falta de una cobertura viva o muerta. En estos casos la temperatura puede elevarse en los suelos a más de 55º C, lo que unido a la influencia directa de los rayos solares, y las lluvias producen efectos degradativos en el suelo.

La compactación induce cambios en el balance nutricional y por consiguiente en el crecimiento de las plantas, decreciendo la actividad fotosintética como resultado de una pequeña área foliar e inhibición de los estomas. La caída natural de las hojas y las podas ayudan a incrementar la disponibilidad de agua, de luz y de nutrimentos para todos los componentes del sistema (Kozlowski, 1998; Simón *et al.,* 1998, Pound, 1999).

Botero *et al.,* (1999) y Shibu (2009) reportan que los árboles y arbustos pueden mejorar las condiciones físicas del suelo como la porosidad, la densidad aparente y mantener la productividad mediante un manejo planificado, racionalizando el impacto sobre el ambiente.

La influencia de las prácticas agrícolas sobre los suelos arables es una de las relaciones humano-naturaleza con más impactos ambientales al nivel mundial. Los tipos de daño que hacen las actividades de agricultura sobre el subsistema suelo incluyen la erosión, la contaminación, la compactación, la acidificación, la salinización, la destrucción de hábitat y la desertificación (Pretty, 2008).

Varias de las tecnologías de producción agrícola influyen sobre el recurso suelo, entre ellas se podrían destacar la labranza, el uso excesivo de tractores, los agroquímicos y fertilizantes sintéticos, el monocultivo y el riego. Las variables dentro de sistemas agrícolas son numerosas y complejas; sin embargo, la

investigación ha mostrado muchas relaciones directas de causa y efecto entre las tecnologías de producción y el estado resultante del suelo, tales como la compactación causada por excesivo uso de maquinaria pesada de tracción, la salinización que resulta de años de riego y la pérdida de la fertilidad química en condiciones de monocultivo (Rodríguez *et al.,* 2004).

La calidad de suelo se evalúa a través de una serie de parámetros físicos y químicos del mismo. Mientras algunas propiedades de suelo, como la textura, son difícilmente cambiables a través de las tecnologías de producción, hay factores variables como la estructura, la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana que dependen en gran medida de las prácticas agrícolas empleadas. La degradación de algunas de estas propiedades conlleva a la disminución de productividad, con asociados impactos económicos, sociales y ambientales (Martínez *et al.,* 2008).

Hernández y López (2002) documentan los impactos que tiene la labranza sobre el componente suelo en agroecosistemas tropicales de Venezuela. Afirman estos autores que la labranza puede considerarse como un eje transformador del funcionamiento de un sistema agrícola al influir en la formación y estabilidad de los agregados del suelo y el mantenimiento de materia orgánica, y mantienen que los efectos físicos pueden desligarse del destino de la biomasa microbiana.

Las condiciones típicas del clima tropical, con cambios periódicos de ciclos de humedad-sequía, contribuyen a la fractura física del suelo, sobre todo si éste tiene pocos agentes orgánicos que le sirvan de unión, condición que es característica de suelos altamente lavados y meteorizados. Las consecuencias de la labranza convencional (con tractor) incluyen la compactación y la formación de piso de arado, y la disminución de la infiltración de agua, el intercambio gaseoso y el número de microorganismos (Hernández y López, 2002).

3. Materiales y métodos

3.1. Localización del experimento

Este trabajo tuvo como base el análisis de escenarios comparados para lo cual se seleccionaron 7 sistemas agrícolas del municipio Santa Clara, provincia Villa Clara, Cuba. En estos sistemas agrícolas se escogieron entre dos y tres campos para desarrollar la investigación para un total de 31 campos. La selección de estos campos se basó en los siguientes criterios: similares rotaciones de cultivo, período de tiempo bajo el uso de suelo actual y uso precedente. Como patrones de referencia en el estudio se emplearon un sistema natural, un área de pasto y un área de marabú, localizados en las mismas condiciones edafoclimáticas que los sistemas agrícolas. Esto completó una cantidad de 34 sitios estudiados.

Todos estos agroecosistemas se localizan en suelos Pardos mullidos medianamente lavados (Hernández *et al.,* 2015), presentan condiciones climáticas similares y representan las diferentes formas organizativas de producción predominantes en Cuba (empresa estatal, cooperativas de producción agropecuaria, fincas de campesinos).

3.2 Caracterización de las áreas de estudio

De acuerdo con el uso y manejo actual, los campos objeto de estudio se clasificaron en grupos que se describen a continuación:

1. Agroecosistema estatal con altos insumos (Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”) (EC). Los campos de este grupo se caracterizan por un uso intensivo del área, fertilización química frecuente y muy limitada fertilización de fuentes orgánicas, preparación de suelo y labores de cultivo mecanizados con equipos automotores, con rotaciones de cultivo limitadas, no presencia de asociaciones, aplicaciones frecuentes de agroquímicos. Para conformar este grupo se tomaron 2 granjas de la empresa caracterizadas previamente en su manejo por los autores citados y de cada granja 4 campos que han sido manejados durante más de 15 años según lo anteriormente descrito. En total se evaluaron 8 campos en este agroecosistema.
2. Agroecosistema de campesinos privados con alto consumo de insumos (PC). Los campos de este grupo también se caracterizan por el uso intensivo del área, fertilización química frecuente pero combinada en ocasiones con

fertilización de fuentes orgánicas, preparación de suelo y labores de cultivo con tracción animal y en ocasiones con tractores, con rotaciones de cultivo y presencia de asociaciones, aplicaciones frecuentes de agroquímicos. Para conformar este grupo se tomaron 5 fincas de campesinos privados caracterizados previamente en su manejo y de cada finca 2 campos que han sido manejados durante más de 15 años según lo anteriormente descrito. En total se evaluaron 10 campos en este agroecosistema. Dentro de este grupo se identificó para algunos campos un uso anterior con marabú, mientras que los restantes no tenían otro uso conocido, por lo que se subdividieron en cuanto al uso anterior en PC y PCM.

3. Agroecosistema de campesinos privados con bajos insumos y vinculados al Movimiento Agroecológico “Campesino a Campesino” de la ANAP (PO). En este grupo los campos seleccionados se caracterizan por un uso intensivo del área, fertilización de fuentes orgánicas y empleo de biofertilizantes, preparación de suelo y labores de cultivo con tracción animal, con amplio uso de rotaciones de cultivo y asociaciones, no aplicaciones de agroquímicos y microorganismos benéficos en el control de plagas. Para conformar este grupo se tomaron 5 fincas de campesinos privados caracterizados previamente en su manejo y de 3 fincas se tomaron 2 campos que han sido manejados durante más de 15 años según lo anteriormente descrito; mientras que de las otras 2 restantes se tomaron 3 campos para el estudio. En total se evaluaron 13 campos en este agroecosistema. En este grupo se identificaron tres usos anteriores diferentes: marabú, pastos y foresta; mientras que otros no tenían uso previo. Se subdividió en los siguientes grupos en cuanto a uso previo: POM, POP, POF y PO, respectivamente.
4. Sistema natural (SN). El ecosistema natural seleccionado se caracteriza por la predominancia de una vegetación secundaria establecida de forma natural y espontánea y que no ha tenido intervención antrópica por más de 20 años.
5. Pastos (MP). Es un área de pasto natural abandonado, con aproximadamente 10 años bajo este uso y donde se encontraban especies de gramíneas y restos de la vegetación precedente (*Dichrostachys cinerea* Wight et Arn.).

6. Marabú (M). Caracterizado por la predominancia de la especie *Dichrostachys cinerea* Wight et Arn. en la vegetación que la conforma y que no hubiese sido intervenido por el hombre en más de 15 años.

De todos los sitios se identificó además el uso precedente y las características del manejo del área. El anexo 1 muestra una descripción más detallada e individual de cada sitio seleccionado.

3.3. Muestreo de campo

Los muestreos de suelo se realizaron entre noviembre de 2015 y enero de 2016. Las muestras se tomaron usando un barreno a una profundidad de 20 cm. De todos los campos y del área natural se tomaron 4 muestras compuestas conformadas a partir de 10 submuestras. En total se tomaron 52 de las muestras del agroecosistema privado de bajos insumos, 40 muestras del agroecosistema privado de altos insumos, 32 muestras del agroecosistema estatal con altos insumos, así como 4 muestras del sistema natural, 4 del sistema de pastos y 4 del sistema marabú.

Las muestras tomadas se llevaron al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, para realizar los análisis correspondientes. Previo a estos, el suelo muestreado que contenían las bolsas fue secado al aire. Una vez seco, se pasó por tamiz de 2.0 mm para análisis físicos y por 0.5 mm para los análisis químicos.

3.4. Análisis de los indicadores físicos

3.4.1. Densidad Aparente

En la determinación de la DA de los suelos se empleó el método del cilindro utilizando un cilindro con un diámetro de 7 cm y una altura de 6 cm, para un volumen de 230,91 cm^3 ($Vs = \pi * r^2 * h$). Las muestras fueron numeradas y bien rotuladas con el código de cada finca. Se sacaron 4 muestras por lote en un recorrido diagonal por el terreno. Las muestras numeradas fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Central de las Villas donde se anotó el peso húmedo y fueron colocadas en bolsas de papel y secadas a 110 ^oC por 24 h en una estufa. La DA se obtuvo dividiendo el peso seco de cada muestra entre el volumen del frasco al que corresponde. Se determinó el contenido de agua de las muestras, secando 100 g de suelo de cada una. El porcentaje de humedad se

determinó por diferencia entre el peso húmedo inicial y el peso seco final de la muestra.

Da = Ps / Vs expresada en g/ cm^3. Dónde: Ps = Peso de suelo y Vs = Volumen de suelo.

3.4.2. Factor de estructura

Este indicador caracteriza la cantidad de arcilla que actúa como cementante en la formación de suelo. Si todas las arcillas contenidas interviene en la formación de la estructura, el factor equivalente al 100%, entonces tiene buena estabilidad estructural, si interviene la mitad, 50%, la estabilidad es mala. Se halla a través de la determinación de la arcilla sin dispersar (b) y arcilla previamente dispersada, según el análisis mecánico (a). De acuerdo con Vageler y Alten (1931) citados por Cairo (2006), la fórmula es la siguiente:

FE= a – b / a x 100 ó *FE* = ((a – b)/a)*100

3.4.3. Coeficiente de Permeabilidad

Se realizó según el método de Henin *et al.,* (1958) donde se calcula el Log_{10} del coeficiente 10*K, para cada muestra con la utilización de un infiltrómetro siguiendo la fórmula:

*Permeabilidad = Log 10 K y K = (e*V)/(H*S)*

Dónde: K = coeficiente de percolación, e = altura de la columna de suelo, V = volumen en ml de agua percolada en una hora, H = altura de la columna liquida o lámina de agua, S = área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar.

3.4.4. Agregados Estables

Por el método de Henin *et al.,* (1958) citado por Cairo (2000). Este método consiste en echar 5 g de suelo en un elermeyer, añadir 200 ml de agua destilada y dejar en reposo 30 minutos. Luego, se somete la solución al golpeteo (40 golpes) durante 20 segundos y se tamiza en un tamiz de 0,2 mm. Lo que se queda en el tamiz son los agregados estables.

3.5 Análisis de los indicadores químicos

3.5.1. pH en H_2O y en KCl

Para hacer este análisis se utilizó el método potenciométrico con una relación suelo-solución 1:2,5 según Hesse (1971).

3.5.2. Materia Orgánica

Se determinó por colorimetría según Walkley y Black (1947) por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

3.5.3. Fósforo

El fósforo disponible en el suelo (P) se determinará por el método de Olsen, con una solución extractiva de bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) 0,5 M a pH 8,5 determinándose a través del método colorimétrico con ácido ascórbico.

3.6. Procesamiento estadístico

A partir de los análisis realizados a los indicadores, se construyó una base de datos fundamental para establecer las relaciones entre las propiedades. Se utilizó el paquete de programas profesional STATGRAPHICS Plus Versión 5.0 sobre Windows 10.

Para evaluar la influencia del manejo actual entre los grupos para se realizó un ANOVA simple aplicando la prueba de Bonferroni para $p<0.05$. En el análisis intragrupal se realizó un ANOVA simple para el grupo PO aplicando nuevamente Bonferroni para $p<0.05$, mientras que para el grupo PC se aplicó una T-student para $p<0.05$. Al resto de los grupos se le aplicó la estadística descriptiva.

Finalmente, se realizó un análisis cluster Nearest neighbor method, squared Eucludean con el fin de agrupar los vecinos más cercanos.

4. Resultados y Discusión

4.1. Efecto del manejo sobre indicadores físicos del suelo en sistemas agrícolas de Santa Clara

La figura 1 muestra los resultados de los análisis físicos correspondientes a los suelos muestreados según el manejo en cada uno de los sistemas evaluados. La densidad aparente no mostró diferencias significativas entre los valores de los campos privados bajo manejo orgánico (PO) y las granjas estatales bajo manejo convencional (EC). Éstos, a su vez, sólo mostraron diferencias significativas con los campos privados bajo manejo convencional (PC).

García (2015) explica que la densidad aparente del suelo depende de varios factores como la textura, el contenido de materia orgánica, la estructura, el manejo que se le da al suelo, entre otros. Al ser esta propiedad altamente dependiente de la textura, será modulado su valor en función de los demás factores. Los suelos arcillosos se caracterizan por densidades aparentes entre 0.9 y 1.2 g cm^{-3} (Cairo y Fundora, 2005), lo cual se corresponde con los resultados obtenidos en los sistemas estudiados. Por ende, las diferencias entre estos pueden atribuirse a variaciones en los restantes factores mencionados.

Chaudhari *et al.* (2013) encontraron una fuerte correlación negativa entre la densidad aparente y factores como la materia orgánica, el contenido de arcilla y carbonatos en los suelos. El suelo estudiado es un suelo con alto contenido de arcilla y presencia de carbonatos secundarios por lo que estas propiedades influyen en la densidad aparente del mismo.

En cuanto a la permeabilidad, el sistema natural (SN) presentó los mejores resultados, difiriendo significativamente con los ecosistemas privados bajo manejo orgánico (PO), privados bajo manejo convencional (PC) y granjas estatales bajo manejo convencional (EC) que no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero si con respecto al resto de los sistemas evaluados (MP y M). De manera general los resultados de la permeabilidad son excelentes pues son mayores que 2, a excepción de las áreas MP y M. Según Cairo y Fundora (1994) Colás (2007) expresan que cuando la permeabilidad se encuentra próxima a 2 los suelos tienden a manifestar un buen estado estructural, aumentando la humedad

para el límite inferior de plasticidad, lo que tiende a igualar la capacidad de campo, existiendo mayor posibilidad de almacenamiento de agua así como su disponibilidad para las plantas, mostrando el papel que ejercen las transformaciones físicas, químicas y biológicas que ha tenido lugar en el suelo. Resultados expuesto por Govaerts *et al.* (2007) y Rubio (2011) muestran que aquellas técnicas relacionadas con la labranza mínima sin inversión del prisma y la rotación de cultivos contribuyen al mejoramiento de las propiedades del suelo teniendo un impacto positivo sobre el estado físico de los mismos en correspondencia con los resultados obtenidos en este trabajo.

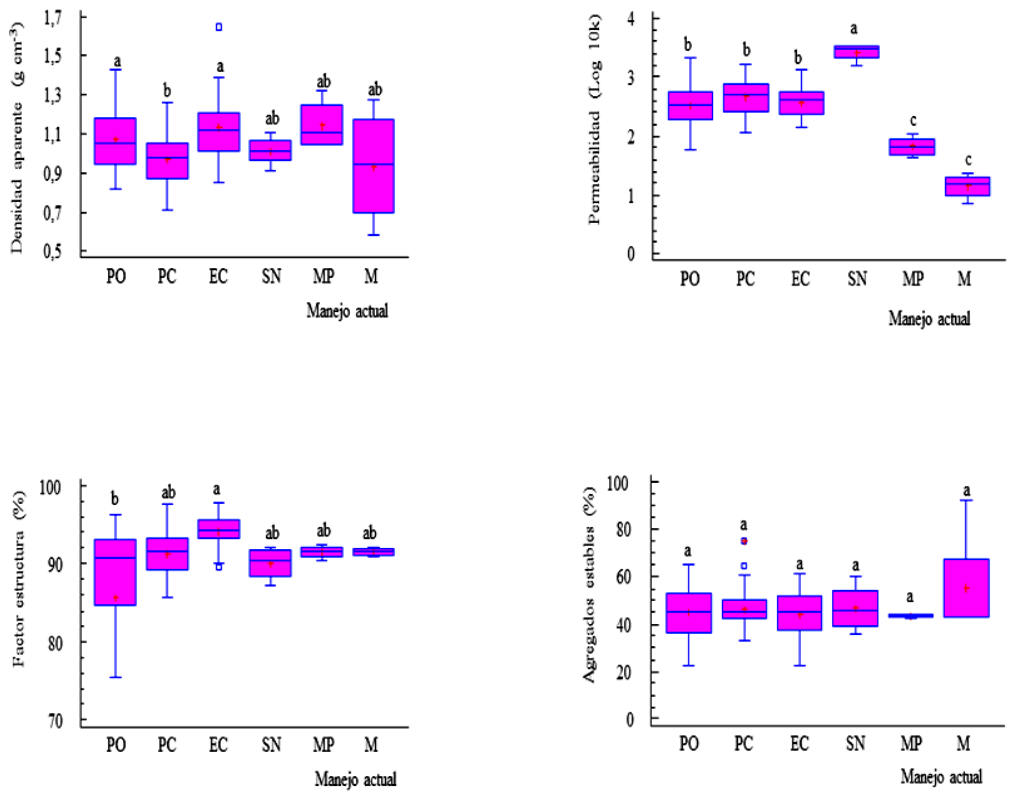

Figura 1. Efecto del manejo sobre indicadores físicos. **Clasificación por sistemas:** PO = campos de campesinos privados bajo manejo orgánico; PC = campos de campesinos privados bajo manejo convencional; EC = campos de granjas estatales bajo manejo convencional; NS = bajo forestal; and MP = área de pasto que fue marabú en el pasado reciente y M = área bajo marabú.

Los resultados del factor de estructura muestran que los valores medios oscilan de 90 y 96%, lo cual es indicativo de una buena estructuración del suelo, siendo calificada como excelente (Cairo, 2006). Al analizar estos valores solo se encontraron diferencias significativas entre el sistema EC y el PO. Esto puede deberse a que los contenidos de Ca^{2+} y materia orgánica sean superiores en el sistema EC, de acuerdo con los resultados obtenidos. Según Cairo (2011) cuando se mejora en los indicadores de la estructura del suelo se propicia una mayor resistencia al golpeteo de la lluvia, y es mejor la infiltración del agua en todo el perfil.

A su vez, los agregados estables no mostraron diferencias significativas entre los diferentes sistemas de manejo evaluados mostrando valores entre 40 y 45 %.

La agregación del suelo depende grandemente del contenido y tipo de arcilla, así como del contenido de materia orgánica, y la presencia de materiales cementantes como algunos metales alcalino-térreos (ej. el Ca^{2+} que es abundante en este tipo de suelos y tiene propiedades floculantes). Esto es positivo ya que influye positivamente en la formación de la estructura, aumenta la cohesión y disminuye el riesgo de estallido de los agregados, a la vez que modera la dispersión de los coloides. En los suelos calcáreos, además de la presencia e influencia de las arcillas en la agregación, en especial del tipo 2:1 que forma complejos argilo-húmicos de alta estabilidad, es importante el aporte del Ca^{2+}, ya que es a partir de la formación de puentes de enlace con metales alcalino térreos polivalente como él, que se forman dichos complejos que permiten una buena estructuración y estabilidad de los agregados (Wuddivira y Camps-Roach, 2007).

4.2. Evaluación de los indicadores químicos de los suelos en los ecosistemas estudiados

La caracterización de las propiedades químicas de los suelos según el manejo agrícola se muestra en la figura 2. Los resultados para pH-H_2O y pH-KCl fueron similares en cuanto a la tendencia entre los sistemas estudiados. El sistema MP que identifica el área actual de pastos que anteriormente fue ocupada por marabú mostró los valores moderadamente ácidos, mientras que el sistema EC presentó valores ligeramente alcalinos. El resto de los sistemas presentaron valores dentro del rango de la neutralidad (López *et al.,* 1981). Estos resultados pueden estar

asociado al no laboreo del suelo durante muchos años y a la gran cantidad de raíces que favorecen el lavado de las bases (Cairo, 2011).

McCune *et al.* (2011) encontraron resultados similares al estudiar estos suelos, siendo los pH más alcalinos en áreas de las empresas estatales atribuido a las consecuencias del laboreo con inversión del prisma que debido a lo intensivo que ha sido y al largo tiempo bajo este uso ha ocasionado que se mezcle material del subsuelo con las capas superiores, provocando un incremento en el contenido de materiales calcáreos en estas y por ende, elevaciones del pH.

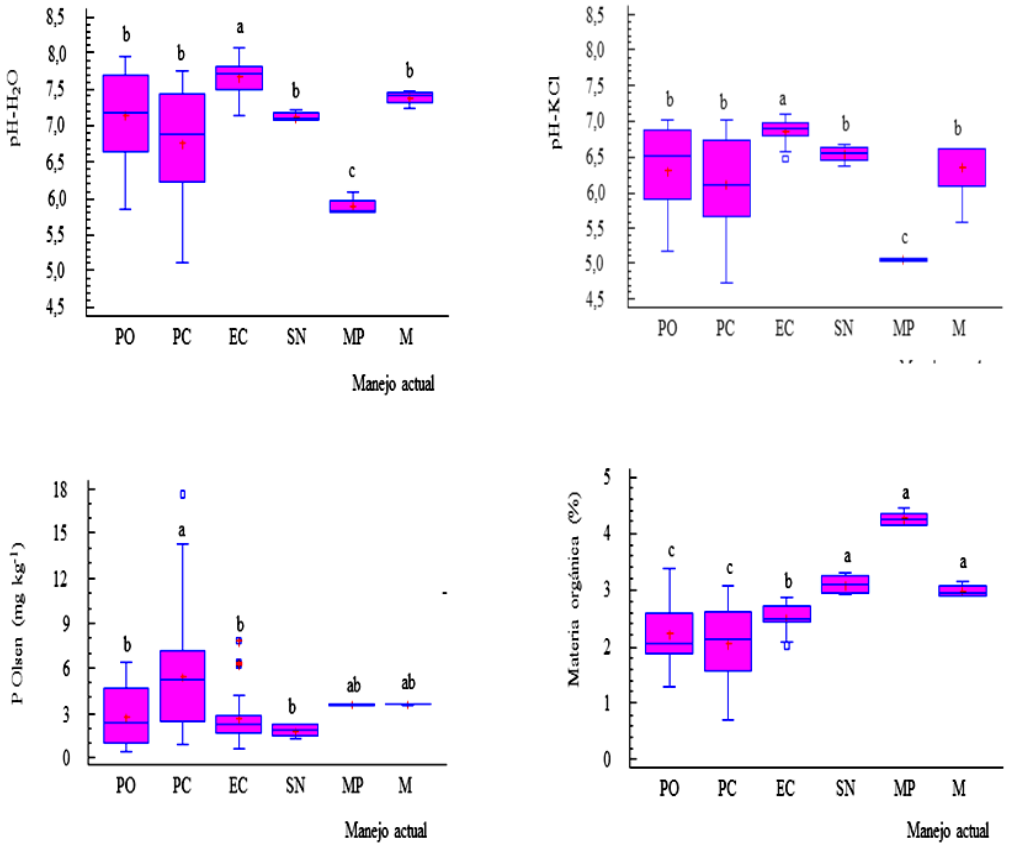

Figura 2. Efecto del manejo sobre indicadores químicos. **Clasificación por sistemas:** PO = campos de campesinos privados bajo manejo orgánico; PC = campos de campesinos privados bajo manejo convencional; EC = campos de granjas estatales bajo manejo convencional; SN = bajo forestal; and MP = área de pasto que fue marabú en el pasado reciente y M = área bajo marabú.

El contenido de fósforo en los suelos en cada contexto fue evaluado según la escala empleada por Chacón (2014), según lo cual fueron contenidos medios para las áreas PO, EC y SN; mientras que fueron satisfactorios para MP y M y altos para PC. Estadísticamente, los resultados mostraron que los suelos del sistema PC presento mayores concentraciones de fósforo, aunque con una elevada dispersión en los valores. Esto puede que se deba a que en este grupo se encuentra también el uso de diferentes fuentes en la fertilización para incrementar los rendimientos de los cultivos, que van desde el empleo de fertilizantes químicos hasta combinaciones con diversas fuentes orgánicas. Probablemente esta dispersión también sea la causa de que PC sólo tenga diferencias significativas con SN, EC y PO, en cuanto al contenido de fósforo, quienes presentaron bajos contenidos de fósforo. Por otra parte, Vargas *et al.* (2003) encontró que en áreas dedicadas al silvopastoreo, donde se asociaban gramíneas con arbustos de leguminosas, el contenido de fósforo en el suelo era mayor que en áreas de pasto natural y caña de azúcar. Markewitz *et al.* (2004) expresaron que aunque la descomposición de la hojarasca se considera la principal vía para el reciclaje de nutrientes; en algunos sistemas tropicales, esta vía puede ser suplida por la descomposición de las especies de gramíneas, especialmente en condiciones de bajas entradas por algún tipo de fertilización. Esto pudiera explicar, en parte, los resultados de las áreas MP y M, que fueron superiores a áreas cultivadas, aunque no difieren significativamente ni con PC ni con el resto de los sistemas.

Los niveles de materia orgánica (MO) fueron superiores en los sistemas con baja intervención del hombre (SN, MP, M; donde pueden ser evaluados de medios) y difiriendo significativamente con los demás agroecosistemas donde los contenidos fueron bajos. Los menores índices de materia orgánica lo ofrecen áreas dedicadas a la agricultura convencional y manejo orgánico. Independientemente del manejo, las áreas de los campesinos privados son pequeñas y se mantienen bajo un cultivo intensivo todo el año por lo que no permiten que se estabilicen los lentos mecanismos de humificación que elevan estos tenores, que son afectados por numerosos factores que interactúan entre sí durante este proceso, entre los cuales podemos mencionar factores climáticos, de la propia naturaleza de los suelos, del manejo agrícola, de la biota edáfica, entre otros (John, 2003).

Por otra parte, es conveniente resaltar que estas áreas con mayores contenidos de MO presentaron también buenos resultados en cuanto a densidad aparente, factor estructura, agregados estables y permeabilidad; lo que demuestra la influencia positiva de este indicador sobre las propiedades físicas estudiadas. Murray *et al.* (2011) referenciaron la relación de la MO con la densidad aparente y la estructura, las cuales se ven favorecidas con los frecuentes aportes de hojarasca modificando positivamente algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Hossain *et al.* (2015) explicaban que niveles mayores de materia orgánica se corresponden con valores menores de densidad aparente, por lo que en áreas donde se producen frecuentes aplicaciones de compost, humus y la incorporación de residuos de cosecha, hojarasca y otras fuentes orgánicas debe coincidir con menores densidades aparentes.

Lopes *et al.* (2016) demostraron la marcada influencia de la materia orgánica sobre el factor de estructura y los agregados estables en estos suelos, sugiriendo que estos fueran propiedades que se tuviesen en cuenta como indicadores de la calidad de estos suelos.

4.3. Efecto del uso precedente de la tierra sobre los indicadores físicos y químicos en agroecosistemas de Santa Clara

Al estudiar los resultados obtenidos para el uso y manejo actual de las áreas estudiadas se encontró una alta variabilidad y dispersión para algunos indicadores de los datos dentro de los grupos por lo que se procedió a un análisis intra-grupal, el cual se hizo sub-dividiendo a los grupos anteriores en función de usos previos. El resultado de este análisis se muestra en la tabla 2.

Dentro del grupo de los sistemas orgánicos privados se identificaron cuatro grupos de acuerdo con su uso previo. Estos fueron pasto (POP), forestal (POF), marabú (POM) y finalmente, áreas a las que no se les identificó otro uso anterior (PO). De acuerdo con los resultados obtenidos la densidad aparente fue mayor en los campos cuyo uso precedente fue pasto, aunque sin diferencias significativas con las áreas que tuvieron como precedente el marabú. Esta última tampoco mostró diferencias significativas con los otros dos grupos, siendo la densidad aparente menor en las áreas donde hubo forestal.

La permeabilidad por su parte sólo mostró diferencias significativas entre el área donde hubo forestal, que tuvo los mejores resultados, y el área donde precedió el marabú. Los agregados estables sólo difirieron significativamente entre las áreas con uso precedente de forestal y pasto. No hubo diferencias significativas para el factor estructura.

García *et al.* (2012) explicaban que entre los indicadores físicos propuestos como indicadores de la calidad del suelo están la estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, entre otros. De manera general, esta calidad física del suelo es importante y conlleva un incremento de la producción agrícola pues se asocia con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas (Navarro *et al.,* 2008).

La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. En contraste, los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios (Rubio, 2010).

En cuanto a los indicadores químicos sólo hubo diferencias significativas para el fósforo. El grupo con uso previo de forestal mostró los mayores contenidos del elemento, aunque sin diferencias significativas con aquellas áreas donde precedió el marabú o no se identificó uso previo. Sin embargo, el área donde previamente hubo pasto mostró los menores contenidos difiriendo significativamente con el área de forestal pero no con el resto de los subgrupos.

Dentro de este grupo, se puede apreciar que el uso precedente tiene alguna influencia en la variabilidad de los resultados, especialmente entre los indicadores físicos densidad aparente, permeabilidad y agregados estables, así como para el caso del indicador químico P Olsen que identifica la disponibilidad de fósforo en el suelo.

La nutrición vegetal, básica para el desarrollo óptimo de los cultivos, depende de la capacidad del suelo para suministrar cada uno de los elementos nutritivos, en forma, cantidad y el momento adecuado que lo requieran. El fósforo es un nutriente esencial para los cultivos que, en las condiciones tropicales, constituye un factor limitante para el desarrollo de los cultivos por lo que comprender la dinámica de sus transformaciones y los factores que pueden afectar su disponibilidad puede ser de utilidad en el manejo de los sistemas agrícolas.

Las fincas privadas bajo manejo convencional (PC) se dividieron a su vez en dos subgrupos: el primero con uso previo marabú (PCM) y el segundo sin otro uso previo conocido (PC). Al establecer las comparaciones entre estos solamente se encontraron diferencias significativas para el contenido de MO. Dentro de este grupo quedó claro que solo este indicador mostró que el uso previo tuviese incidencia en los resultados obtenidos, siendo mayormente consecuencia del manejo actual que tienen dichos suelos para el resto de los indicadores.

La MO es muy importante como indicador de la calidad del suelo, ya que influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y contribuyen a la estabilidad de los agregados, mejorando la infiltración y retención de agua (Magdoff y Van Es, 2009). Por otra parte, el suministro de nutrientes a las plantas depende de la repetida incorporación de materiales orgánicos al suelo, tales como cultivos de cobertura, compost y otras fuentes (Baldwin, 2009).

Por otro lado, el contenido de MO es un indicador de la capacidad del suelo para actuar como sumidero de carbono. Algunas prácticas de manejo, como la siembra directa y la rotación de cultivo, pueden conducir a un aumento de la misma, lo que se traduce en un mejoramiento de la productividad y la calidad del suelo. Por lo tanto, la forma más práctica y común para mejorar la calidad del suelo es promover un mejor manejo de la MO (USDA-NRCS, 2011).

Pulido-Moncada *et al.* (2009) estudiaron el rol de la materia orgánica del suelo como factor estabilizador de la estructura del suelo. Estos autores corroboraron que aunque por lo general la MO promueve la estabilidad de los agregados, la efectividad del CO en formar agregados estables está relacionada con su tasa de descomposición, la cual a su vez está influenciada por su protección física y química de la acción microbiana. Por tanto, el contenido de MO no siempre tiene correlación con la estabilidad de los agregados, lo que sugiere que la cantidad de

MO per se no es directamente responsable del número y estabilidad de los agregados; sino que puede depender más del tipo de MO y su disposición con respecto a las partículas minerales.

En el resto de los grupos no se identificó ningún uso precedente por lo que se mantuvieron como grupos únicos siendo analizados solamente de forma descriptiva.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de los diferentes grupos según el uso pasado de la tierra.

Uso actual	Uso anterior de la tierra	Densidad aparente (g cm^{-3})	Permeabilidad (Log10k)	Agregados estables (%)	Factor Estructura (%)	pH (H_2O)	pH (KCl)	P-Olsen (mg kg^{-1})	MO (%)
PO	POP	1.07[a]	2.42[ab]	37.73[b]	77.74[a]	7.47[a]	6,56[a]	0.99[b]	2,11[a]
	POF	0.97[b]	2.89[a]	59.99[a]	92.34[a]	6.86[a]	5.89[a]	3.88[a]	2,04[a]
	POM	1.13[ab]	1.96[b]	53.14[ab]	90.98[a]	7.08[a]	6.54[a]	2.88[ab]	2,73[a]
	PO	1.03[b]	2.57[ab]	43.53[ab]	88.02[a]	7.05[a]	6.27[a]	3.59[a]	2,26[a]
CV		**15%**	**16%**	**25%**	**20%**	**9%**	**10%**	**67%**	**23%**
PC	PCM	0.97[a]	2.66[a]	44.66[a]	93.64[a]	6.79[a]	6.10[a]	2.47[a]	2,56[a]
	PC	0.97[a]	2.70[a]	47.52[a]	89.83[a]	6.76[a]	6.14[a]	7.35[a]	1,70[b]
CV		**15%**	**12%**	**28%**	**3%**	**10%**	**11%**	**61%**	**25%**
EC	EC	1.14	2.58	43.86	94.18	7.68	6.86	2.64	2,49
CV		**15%**	**10%**	**24%**	**3%**	**3%**	**2%**	**67%**	**18%**
SN	SN	1.01	3.42	46.83	90.03	7.12	6.54	1.81	3,11
CV		**8%**	**5%**	**22%**	**3%**	**1%**	**2%**	**24%**	**6%**
M	M	1.15	1.82	43.42	91.45	5.89	5.06	3,55	4,26
CV		**12%**	**9%**	**2%**	**1%**	**3%**	**1%**	**2%**	**3%**
P	M	0.94	1.15	55.17	91.48	6.36	7.39	3.61	2,99
CV		**32%**	**19%**	**45%**	**11%**	**2%**	**8%**	**2%**	**4%**

Valores dentro de la misma fila que no muestran la misma letra difieren significativamente.

3.4. Agrupamiento de las áreas seleccionadas según los indicadores evaluados (Análisis por Cluster)

Como muestra el dendograma (figura 3), los campos se agruparon en dos subgrupos. El primer subgrupo incluyó 7 campos bajo manejo orgánico y 10 con manejo convencional, de ellos 2 del sector privado y todos los campos de las entidades estatales (8 campos). El segundo grupo quedó conformado por 3 campos bajo manejo orgánico y 4 bajo manejo convencional.

Los campos bajo manejo orgánico del primer grupo tenían como uso anterior de la tierra pasto y marabú principalmente, mientras que en los del segundo grupo predominaba la forestal como uso anterior de la tierra. Aquellos campos sin uso previo identificado se agruparon indistintamente entre ambos grupos, aunque uno de ellos y otro con uso previo pasto quedaron dispersos.

Estos resultados indican que en el sector privado existieron diferenciados por el manejo actual empleado, denotándose distinciones de los campos de estos entre ambos grupos. La diversidad de prácticas agrícolas que pueden encontrarse en el sector privado puede ser la causa de la heterogénea distribución pues aunque se clasifique en manejo convencional a un conjunto de estas fincas donde se aplica fertilización química y laboreo intensivo, en la práctica existen muchas variaciones de alternativas combinadas que implican el resultado obtenido identificando al manejo actual como más determinante que el uso precedente. No obstante, este último tiene que ser considerado en el análisis pues indudablemente tiene incidencia sobre algunas propiedades como ya se ha demostrado anteriormente.

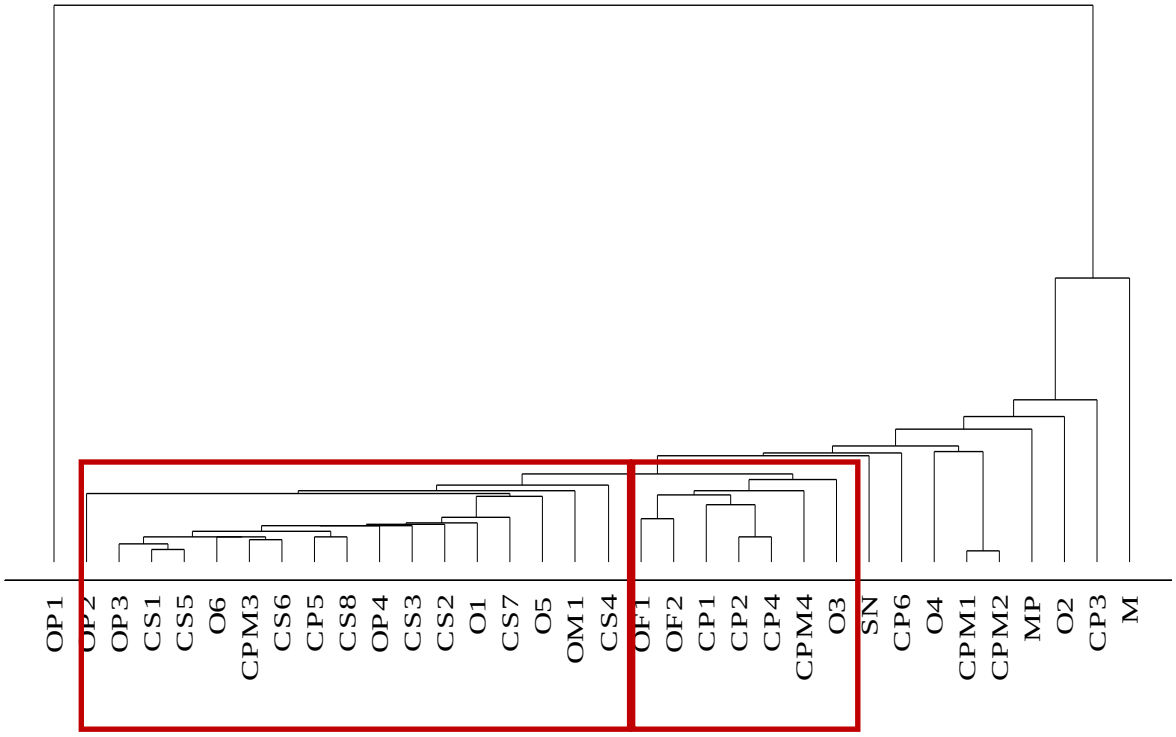

Figura 3. Análisis por cluster. Campos privados bajo manejo orgánico que fueron pasto en el pasado (desde OP1 a OP4), forestal (desde OF1 a OF2), sin información (desde O1 a O6), y marabú (OM1). Campos bajo manejo convencional que fueron marabú en el pasado (desde CPM1 a CPM5) y sin información (desde CP1 a CP6). Sistema estatal (desde CS1 a CS8), campo de Sistema natural (NS), campos que fueron marabú en el pasado y ahora pasto (MP) o todavía bajo marabú (M).

A pesar de no aportar relaciones cuantitativas entre ellos, el análisis cluster Nearest neighbor method, squared Eucludean demostró que el ordenamiento de las muestras sobre la base de las características del suelo tiende a conformar distinciones sobre la base de su manejo tecnológico. Por lo que a partir de estos resultados, que incluyen el análisis de muestras de suelo en 34 campos provenientes de diferentes sistemas agrícolas y no agrícolas representativos del municipio de Santa Clara bajo similares condiciones edafo-climáticas, podemos afirmar que las diferencias en el estado físico y químico que determinan la capacidad agro-productiva del suelo está motivada esencialmente por el manejo tecnológico del uso actual del suelo en cada sistema estudiado. Vandermeer (2011) resalta que buscar un buen manejo del suelo y evaluar los efectos que tenga sobre el mismo la actividad agrícola representa un requisito para la

sostenibilidad de la producción agropecuaria por lo que establecer las influencias de este puede ser útil en el manejo de los sistemas agrícolas.

Mortola y Lupi (2011) señalan que los cambios temporales en las propiedades del suelo constituyen indicadores de su funcionamiento y del manejo a que este es sometido, debiendo considerarse la estrecha interrelación y dependencia que existe entre todas ellas, aunque para su mejor comprensión se estudien independientemente una de otra.

Conclusiones

1. Los indicadores físicos del suelo como densidad aparente, permeabilidad, y factor estructura mostraron diferencias significativas debidas al efecto del manejo actual, pero no los agregados estables; aunque dentro de cada grupo el factor estructura no mostró influencia por el uso precedente.
2. Todos los indicadores químicos mostraron diferencias significativas como efecto del manejo actual; sin embargo, dentro de cada grupo el contenido de fósforo y de materia orgánica mostraron influencias del uso previo para los casos de los grupos PO y PC, respectivamente.
3. El manejo tecnológico actual del suelo tuvo mayor influencia sobre las propiedades del suelo que el uso pasado de la tierra aunque este último influyó en la dispersión de los resultados encontrados en los indicadores evaluados en el presente estudio.

Recomendaciones

- ✓ Profundizar en el estudio del efecto del uso del suelo y los manejos agrícolas sobre las propiedades de los suelos considerando los usos precedentes y actuales.

Bibliografía

Aguila E.; Marrero Y.; Hernández H.; Ruiz Y. (2016). Efecto del uso del suelo sobre su calidad en áreas de la Finca “Baños de Marrero” Centro Agrícola, 43 (2): 14-22; abril-junio, 2016. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001 CE: 8015 CF: cag022162071. http://cagricola.uclv.edu.cu

Arshad, M.A. y Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro ecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 88, 153–160.

Baldwin K. R. (2009). Soil quality considerations for organic farmers. The organic production publication series, Center for Environmental Farming Systems, North Carolina, State University. http://www.cefs.ncsu.edu/resources/organicproductionguide/soilqualityfinaljan09.pdf. Consultado: 10/06/2017 3:00 pm

Bautista, C. A.; J. Etchevers, B.; del Castillo R. F. y Gutiérrez C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas 13 (2): 90-97. (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149 Consultado: 11/06/2016; 15:18 horas).

Bautista, C. A; Barra, J. E., Castillo, R. F. y Gutiérrez, C. (2014). La capacidad del suelo y sus indicadores.

Blakkes, J. A; Van den Bom, G. J.; Helder, J.C.; Swart, R. J.; Hope, C. W. and Parker, J. D. E. (1994). An overview of environmental indicators. State of the art and perspectives.

Botero, R. y O. R. Russo. (1999). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. En conferencia electrónica de la FAO sobre agroforesteria para la producción animal en Latinoamérica.

Cabrera, D. G. (2014). Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba.

Cabrera, S.; Fernández N.; Abreu E.O.; Curbelo R. y Bernal A. (2000). La materiaorganica y el estadoenergético de los vertisoles. II: Incidencia en la capacidad agroproductiva del suelo. Programas y resúmenes. XII Seminario científico, noviembre14 al 17, 2000. INCA. Cuba. 129 p.

Cairo P. (2000). Alternativas para el mejoramiento de los suelos para el cultivo de la caña. Revista Agricultura Orgánica. 23-25p.

Cairo, P. (1995). La fertilidad física de suelos y la agricultura orgánica en el trópico. Universidad Nacional Agraria, Managua. 228 pp.

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

Cairo, P. (2011). Manejo Ecológico del suelo. Conferencia Maestría Agricultura Sostenible.

Cairo, P. y Fundora, O. (1994). Edafología. Ed. Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, Cuba. 475 p.

Cairo, P. y Fundora, O. (2005). Edafología Primera y Segunda Parte. Editorial. Félix Varela Ciudad de la Habana, Cuba. 475p.

Cairo, P.; Carvajal, M. y Machado, J. (1996). Como mejorar la bioestructura de suelos degradados de la provincia de Santis Spiritus. Rev. Agric. Orgánica. N. 3. p. 7.

Calero; B.; Guerrero, A.; Alfonso C.; Somoza V. y Camacho. (1999). Efecto de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. Rev. La Ciencia y el Hombre. Univ. Veracruzana. México.

Cantú, M. P.; Analia; Bedano, J. C. y Schiviavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Cienc. Suelo. 25 (2): 173-178.

Casas, C. R; Salnana, T. M.; Gonzales C. V. F.; Moya, G. E. G.; Olivera, B. V. P.; Arriaga, F.J.T.Y Pérez, T. C. (2001). Sustentabilidad: Avances, limitaciones y perspectivas de su evolución.

Colás, Ariany. (2007). Selección de indicadores de calidad para un suelo Ferralítico Rojo Compactado. Tesis presentada en opción al Título académico de Máster en Agricultura Sostenible.

Chacón, I. A. (2014). Vis/NIR Spectroscopic measurement of select fertility parameters of Cuban agricultural soils. PhD Thesis. Lovain Catholic University, Belgium.

Chaudhari, P. R.; Ahire, D. V.; Ahire, V. D.; Chkravarty, M.; Maity, S. (2013). Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available

total Nutrients of Coimbatore Soil. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 2, February. ISSN 2250-3153.

Deroo, Heleen. 2016. Relationships between Soil Management , soil quality and soil functions in differing agroecosystems in Santa Clara, Cuba. Master Thesis of Science in Bioscience Engineering: Forest and Nature Management. Faculty of Bioscience Engineering, Gent University, Belgium.

Doran J. W. 2002. Soil health and global sustainability translating science into Practice. Agriculture Ecosystems Environment. 88: 119-127.

Doran, J. W. and Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, Centro Agrícola, 43 (2): 14-22; abril-junio, 2016.

Doran, J. W. and Parkin, T. B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. Methods for Assessing Soil Quality.

Dumanski, J. (1994). Sustainable and management for the 21st century. International workshop on sustainable and management for the 21st century.

Duran, J. L. (1998). Degradación y manejo ecológico de los suelos tropicales , con énfasis en los suelos de Cuba en la agricultura orgánica. Año 4. No 1. Abril. pp 7-11.

Font, L.; Calero; B. A. y Del Castillo A. (2002). Estado microbiológico del suelo, base del manejo integral de un Agro ecosistema Citrícola. LEISA. Revista de Agroecología. Instituto de Suelos de Cuba. pp. 21-22.

Gallopin, G. (1997). Indicators and their use: information for decision making. Part 1 introduction. In: B Moldan. Sustainability indicators.

García, R. (2015). Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM. Vol. 18, N.º 35 Enero - Junio, pp. 109-113.

García, Y.; Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes, Vol. 35, No. 2, abril-junio, 125-138.

Gasco-Montes, J. M. (1998). Problemas y prácticas diferenciadas del control de la fertilidad en distintas zonas edafo-climáticas.

Gil-Stores, F.; Trasar-Cepeda, C.; Leiros, M. C. y Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. Soil Biol. Biochem. 37:877-887.

Govaerts, B.; Sayre, K. D. and Deckers, J. (2007). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico.

Guillen, C.; Soto-Adames, F. y Monika, Springer. (2006). Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en costa rica. Agronomía costarricense 30(2): 19-29. ISSN: 0377-9424.

Henin, S.; Monnier G. and Combeau A. (1958). Method pour l'étude de la stabilité structurale dessols. Annals of Agronomy 1:73–92.

Hernández, A. J.; Pérez, J. M.; Bosch, D. I.; Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA, Cuba, 2015. ISBN: 978-959-7023-77-7.

Hernández, R. M. y D. López. (2002). El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales de Venezuela. *Interciencia* 27(10): 529-536.

Hesse, P. R. 1971. A texbook of soil chemical analysis. Chemical Pub. Co. 510 p.

Hossain, M. F.; Chen, W.; Zhang, Y. (2015). Bulk density of mineral and organic soils in Canada´s artic and sub-artic. Information Processing Agriculture 2: 183-190.

John. (2003). Carbon turnover in aggregated soils determined by natural 13C abundance. PhD University of Goettingen.

Karlen, D.; Mausbach, M.; Doran, J.; Cline R.; Harris, R. y Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Science Society of America J. 61: 4-10.

Kolman, E. y Vasquez D. (1996). Manual de agricultura ecológica. MAELA-SIMAS.222 P.

Kozlowski, D. A. (1998). El avance de la Agricultura Sostenible en América Latina.

Lopes Ercília; Cairo P.; Colás A. y Rodríguez A. (2016). Relaciones entre las propiedades indicadoras de calidad, en dos subtipos de suelo pardos, en la provincia de Villa Clara. Centro Agrícola, enero-marzo 43 (1): 21-28. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001.

López, G.; E. F., H. Vázquez. (1981). Resumen sobre los elementos fundamentales que deben ser redactados en cada epígrafe del informe de suelos por municipio a escala 1/25 000. Departamento de Suelos y Agroquímica. Ministerio de la Agricultura. Dirección General de suelos y fertilizantes. Villa Clara. Cuba.

Magdoff, F. y Van Es H. (2009). Building Soils for Better Crops. Sustainable Soil Management. 3rd. Ed. SARE-USDA. 2009, 294 p.

Mann, L. and Tollbert, V. (2000). Soil sustainability in renewable biomass planting . *AMBIO: A Journal of the human environment* 29: 492-498.

Markewitz, D.; Davidson, E.; Moutinho, P. and Nepstad, D. (2004). Nutrient loss and redistribution after forest clearing on highly weathered soil in Amazonia. Ecological Applications, 14 (4) Supplement. pp: 177-199.

Martínez, R.; López M.; Dibut B.; Parra C. y Rodríguez J. (2008). La fijación biológica del nitrógeno atmosférico en condiciones tropicales. Servicio Autónomo de Sanidad Agropecuaria, Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Gobierno Bolivariano de Venezuela, Caracas, Venezuela. 172 p.

McCune N. M. R.; Ruiz G. Y.; Fernández O. M. y Águila E. (2011). Evaluation of the technological impact on soil resource, in agricultural systems representative from Santa Clara municipality. Centro Agrícola, 36(2): 57-63; Abril - Junio.

Mortola, N. and Lupi, A. M. (2011). Indicadores de calidad de suelo para el manejo sustentable de los agroecosistemas productivos en Argentina. VI Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. México.

Murray, N. R. M.; Bojórquez, S. J.; Hernández, J. A.; Orozco, M. G.; García, J. D.; Gómez, A. R.; Ontiveros, G. H. y Aguirre, O. J. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de

la llanura costera norte de Nayarit, México. Revista Bio Ciencias, Vol. 1 No. 3 Año 2, 27- 35.

Navarro, A. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. Agricultura Técnica en México. 34 (2):151.

Oleschko, K.; Etchevers, B. J. D. and Osorio, J. L. (1993). Pedological features as indicators of the tillage effectiveness in vertisoils. Soil and Tillage Research.

Pérez, A. (1997). Sustitución de fertilizantes minerales por materia orgánica en la producción de semillas de Rhodescallida. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica.

Pérez, A.; Amado, H.; Marlen, N. y Jesús S. (2007). Sustitución de Fertilizantes Minerales por Materia Orgánica en la producción de Semillas de Rhodescallide. Revista ACPA, No. 2, p.18.

Pound, B. (1999). Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en américa. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica.

Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transcripts of the Royal Society of Britain* 363: 447-465.

Primavesi, Ana. 1990. Manejo ecológico do Solo. Ed. Librería Nobel. S.P Brasil, 543 p.

Pulido-Moncada, M. A.; Lobo-Luján, D. y Lozano-Pérez, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. Agrociencia 43: 221-230.

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

Rodríguez, A. (2010). Selección de indicadores de la calidad de los suelos hidromórficos de la costa norte de Villa Clara. Tesis de Maestría. UCLV.

Rodríguez, B.; España M. y Cabrera de Bisbal E. (2004). Propiedades químico-estructurales de la materia orgánica del suelo en un agro sistema de los llanos centrales venezolanos bajo diferentes prácticas de manejo. *Interciencia* 29(8): 461- 467.

Rubio, A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales. Proyecto fin de carrera. Universidad de Sevilla.

Rubio, Lizandra. (2011). Influencia de los sistemas agrícolas convencional y tradicional sobre indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo pardo mullido carbonatado. Tesis para aspirar al Título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas.

Ruiz G.; Águila E. A.; Fernández O. M.; Moeskop B.; Buchand D.; De Hasse L.; De Hasse M. and De Neve S. (2013). Soil quality under different farming systems in Santa Clara, Cuba. Communication in soil sciences and plant analyses. 44(1-4): 195-204.

Sánchez, V. J. (2007). "Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas”

Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: overview. Agroforestrysystems. 76: 1-10.

Silva, A. (2007). "La Materia Orgánica Del Suelo". Disponible online en: http://bibliofagro.pbworks.com/f/materia+organica+del+suelo.pdf. Consultado 8/3/2017, 10:00 am.

Simón, G. L. (1998). Del monocultivodelpasto al silvopastoreo. La experiencia de la Eepf “Indio Hatuey”. Los Árboles En La Ganadería. Tomo 1. Silvopastoreo. Matanzas. 9-18 p.

Singer, M. J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Soil Quality Institute (SQI). 1996. Indicators for soil quality evaluation.

USDA-NRCS. (2011). Soil Quality Concepts. Available online at: http://soils.usda.gov/sqi/concepts/concepts.html. Consultado: 6 de junio de 2017, 3:00 pm.

Vandermeer, J. (2011). The Ecology of Agroecosystems. by Jones and Barlett Publishers. Massachussetts, USA.

Vargas, S.; Cairo, P.; Franco, R.; Gutiérrez, D. I.; Muñoz, E. and Pereira, C. A. (2003). Preliminary evaluation of some indicators of soil chemical fertility in a cattle agricultural system. Cuban Journal of Agricultural Science, Vol. 37, N° 1.

Walkley, A. and Black I. (1947). Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. Soil Science 63:251–264.

Wilson, M. G.; Tasi, H. A.; Garciarena, N.; Indelángelo, N. y Sasal, M. C. (2007). Indicadores de Calidad de Suelo. Paraná, Argentina.

Wilson, M. G.; Tasi, H. A; Paz G. A.; Indelángelo, N. y Díaz, E. L. (2008). Indicadores de calidad para suelos del área de bosques nativos de Entre Ríos.

Wuddivira, M. N.; Camps-Roach, G. (2007). Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. European Journal of Soil Science, June, 58, 722–727. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00861.x

Yang, Y. Z; Liu, S; Zheng, D. and Feng, S. (2006). Effects of cadmium, zinc and lead on soil enzyme activities. Journal of environmental Science. 18(6):1135-41.

Anexos

Anexo 1: Caracterización de los sistemas agrícolas evaluados

Sistemas agrícolas	Manejo actual	Uso anterior de la tierra	campo	Rotación y cultivo intercalado	Manejo
Rubén Torres	PO	OP1	1	Pasto y caña de azúcar en el pasado aproximadamente 25 años; ahora rotación de cultivos de tomate yuca maíz, boniato y frijol.	Preparación del suelo con tracción animal. Fertilización: Fertilización con humus de lombriz (7 t/ha). uses pesticida: no use
		O1	2	Pasto y caña de azúcar en el pasado aproximadamente 25 años; ahora rotación de cultivos de tomate, maíz y frijol	
		OP2	3	Pasto y caña de azúcar en el pasado aproximadamente 25 años; Pasto y caña de azúcar en el pasado aproximadamente 25 años intercalado de coco, frijol y maní.	
Roberto Marrero (Liborio)	PO	O2	1	Aproximadamente 20 años de rotación de cultivos de yuca, tomate y maíz.	Preparación del suelo con tracción animal. Fertilización: compost y estiércol. Pesticida uses: no usa
		O3	2	Aproximadamente 20 años de rotación de cultivos de yuca, tomate y maíz.	
		O4	3	Aproximadamente 20 años de rotación de cultivos de yuca, tomate y maíz.	
Omar Zamora	PO	OP3	1	Pasto en el pasado por 15 años; ahora rotación de cultivos de maíz, frijol y yuca.	Preparación del suelo: animal tracción, uso de barreras muertas y canales de deviación para prevenir la erosión del suelo. Fertilización: humus de lombriz, compost, residuos de cultivo, y estiércol (6-7 t/ha). No hace uso de pesticidas
		OP4	2	Pasto en el pasado por 15 años; ahora rotación de cultivos de yuca, maíz, frijol y boniato.	

José I. Baracoa	PO	OF1	1	Bajo forestal en el pasado; ahora rotación de cultivos con frijol, pepino, melón y boniato.	Preparación del suelo con tracción animal. Fertilización: humus de lombriz, compost, residuos de cultivo, y estiércol. No usa pesticidas (usa cultivos barreras, Fitomas-E y *Trichoderma*, *Verticillium, Bauberia bassiana, Bacillus turingiensis, Heterorrabditis* and *Trichogranma.*
		OF2	2	Bajo forestal en el pasado; ahora rotación de cultivos con yuca, maíz, boniato y frijol.	
Andrés Ramos	PO	O5	1	Alrededor de 15 años bajo rotación de cultivos de boniato y frijol intercalado con banana.	Preparación del suelo con tracción animal, usa barreras vivas para la conservación del suelo y fertiliza con compost y estiércol (gallina), no usa plaguicidas: químicos y usa cultivo intercalado para el control de plagas (*Beauveria bassiana* y ferromonas en boniato y *Trichoderma* en frijol)
		O6	2	Alrededor de 15 años bajo rotación de cultivos de boniato y frijol intercalado con banana.	

Anexo 1: Caracterización de los sistemas agrícolas evaluados

Sistemas agrícolas	**Manejo actual**	**Uso anterior de la tierra**	**campo**	**Rotación y cultivo intercalado**	**Manejo**
Guillermo Sosa	PC	CP1	1	Rotación de cultivos de frijol, pepino, boniato y ajo	Preparación del suelo con tracción animal. Fertilización: NPK, Nitrate, Urea, Fitomas-E, y estiercol. Use para el control de plagas fungicidas (Supermeteoro-2000), insecticida (Monarca) y herbicida (Glyphosate).
		CP2	2	Rotación de cultivos de frijol, pepino, boniato y ajo	
Carlos Hurtado	PC	CPM1	1	Áreas que fueron pasto y marabú en el pasado y ahora bajo rotación de cultivo de yuca, maíz y frijol.	Preparación del suelo con tracción animal. Fertilización: NPK, Nitrato y Urea. Usa fungicidas para el control de plagas

		CPM2	2	Áreas que fueron pasto y marabú en el pasado y ahora bajo rotación de maíz, boniato, pepino, yuca, calabaza y tomate.	(Titan, Tamaron y Glyphosato).
Orlando Rodríguez (Patilla)	PC	CP3	1	Bajo rotación de pepino, tomate, calabaza y ajo.	Preparación del suelo con tracción animal. Fertilización con NPK y Urea. Uso de pesticidas químicos Karate, Cipermetrina, Peltrán, Mancozeb, Zineb y Cu.
		CP4	2	Bajo rotación de ajo, tomate calabaza y frijol.	
Michel Morales	PC	CP5	1	Rotación de cultivos de tomate y pepino en el pasado, ahora monocultivo de tomate.	Preparación del suelo con tracción animal (buey) y, ocasionalmente, utiliza tractor. Fertilización con NPK, Nitrato (0.1 t/ha), y Urea (0.1 t/ha). Use de pesticidas químicos Sencor, Zineb, Mancozeb, y Parathion (0.5 t/ha).
		CP6	2	Rotación de cultivos de tomate, maíz, tomate y yuca.	
Lázaro Suárez	PC	CPM3	1	Rotación de cultivos en el pasado seguido de 10 años bajo marabú y ahora bajo rotación de cultivos de pepino, yuca, tomate y papaya.	Preparación del suelo con tractor y tracción animal. Fertilización con NPK (4 t/cab.), Nitrato (0.1 t/ha), y Urea (0.1 t/ha). Use pesticidas químicos como Tamaron y Bi-58 (0.5 t/ha).
		CPM4	2	Rotación de cultivos en el pasado seguido de 10 años bajo marabú y ahora bajo rotación de cultivos de remolacha, ajo y yuca.	

Anexo 1: Caracterización de los sistemas agrícolas evaluados

Sistemas agrícolas	Manejo actual	Uso anterior de la tierra	campo	Rotación y cultivo intercalado	Manejo
Albarrán	EC	EC1	1	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de calabaza, **garbanzo** y frijol	Preparación del suelo con tracción mecanizada con tractor. Fertilización: alto use de agroquímicos NPK (6-19 t/cab), Urea (0.75-1.5 t/cab.). Uso de pesticidas (Tamaron, Zineb, Cosmos, Rydomil, Cu, Desire, Gesapac, Gesagard, Glyphosfato, etc.). Más de 30 años en explotación.
		CS2	2	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de banana, **calabaza** y garbanzo	
		CS3	3	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de **banana**, calabaza y garbanzo	
		CS4	4	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de garbanzo, **calabaza** and garbanzo	
Pararrayo	CS	CS5	1	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de boniato, frijol y **maíz**	Preparación de suelo con tracción mecanizada con tractor. Fertilización: alto use of agroquímicos en papa y boniato con NPK y Urea. Uso de pesticidas Sintético y biológico; pesticidas como Leopard, Gesapac, Gesagard, Glyphosfato, Tamaron, etc.
		CS6	2	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de tomate, boniato, banana y **maíz**.	
		CS7	3	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de **boniato**, frijol y maíz.	
		CS8	4	Alrededor de 30 años bajo rotación de cultivos de tomate, **boniato**, papaya, banana y maíz	
Sistema Natural	SN	SN	1	**Forestal** (*Guazuma tomentosa* Kunth, *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Cecropia schreberiana* Miq. *Roystonea regia* (Kunth) O. F. Cook, *Mangifera indica* L.).	Sistema natural (patrón de referencia)

Áreas removidas o aún bajo marabú	OP	OM1	1	**Marabú** en el pasado por 15 años, la cual fue removida entre 2 a 5 años y ahora bajo cultivo con manejo orgánico.	Áreas después de removido o aún bajo marabú
	MP	PM1	1	**Marabú** en el pasado por 10 años, removido y ahora pasto con un 10 % de marabú remanente.	
	M	M1	1	Alrededor de 20 años infestados de **marabú**	

Anexo 2. Categorías de algunas propiedades químicas del suelo

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)

% de Materia Orgánica (Método de Walkley y Black)	
MO (%)	**Categoría**
< 1.5	Muy bajo
1.5 – 3.0	Bajo
3.1 – 5.0	Mediano
> 5.0	Alto

Fuente: López *et al.,* (1981)

Niveles	**Bajo**	**Medio**	**Satisfactorio**	**Alto**
P Olsen (mg P 100 g-1 s.s)	<1.14	1.14-2.29	2.29-4.12	>4.12

Escala empleada por Chacón (2014) a partir de Bingham (1962) y Hami (1974)