

UNIVERSIDAD DE MATANZAS

“CAMILO CIENFUEGOS”

FACULTAD DE AGRONOMÍA



Maestría en Ciencias Agrícolas Primera Edición



Evaluación del nivel de impacto al suelo en un sistema agrícola perteneciente a la Finca Agroecológica “Primavera”.

Autora: Ing. Marisol Fragela Hernández.

Tutores: MSc. Caridad Díaz Boffill

MSc. Jorge Luis Álvarez Marqués

Matanzas, 2011

UNIVERSIDAD DE MATANZAS

“CAMILO CIENFUEGOS”

FACULTAD DE AGRONOMÍA



Maestría en Ciencias Agrícolas Primera Edición

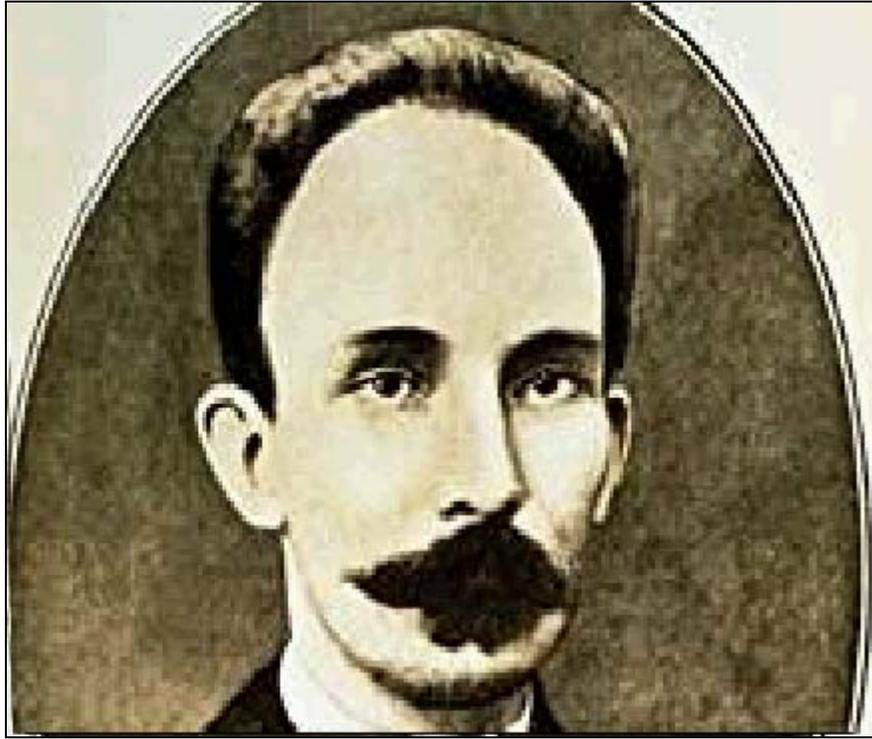
Evaluación del nivel de impacto al suelo en un sistema agrícola perteneciente a la Finca Agroecológica “Primavera”.

Autora: Ing. Marisol Fragela Hernández.

Tutores: MSc. Caridad Díaz Boffill

MSc. Jorge Luis Álvarez Marqués

Matanzas, 2011



“No hay en agricultura acaso cosa más importante que preparar bien la tierra para la siembra. La tierra más fértil necesita preparación aun en países exuberantes, se distingue el fruto cosechado en tierra cuidada del fruto sembrado en la tierra dejada a sí propia”.

José Martí.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Tribunal

Tribunal

Tribunal

Tribunal

Evaluación

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que yo, Ing. Marisol Fragela Hernández soy la única autora de este Trabajo de Diploma por lo que autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma:

Ing. Marisol Fragela Hernández

DEDICATORIA

- ♥ A mis padres Ana Perla y José Fragela por confiar en mí y apoyarme en todas las decisiones que he tomado en la vida, siempre guiándome y haciendo de mí una mejor persona cada día.
- ♥ A mis abuelitos por vivir junto a mí cada etapa y hacerme sentir la nieta más dichosa al haber percibido un amor infinito, especialmente a la memoria de mi abuelo "Tatay", quien siempre estará conmigo más allá de todo.
- ♥ A mi hermana por haber ayudado en mi formación y por poder siempre contar con ella.
- ♥ A mis sobrinos Wendy y José Leonardo por quererme mucho y ayudarme en todo lo que pueden.
- ♥ A mi tío Papito por ser mi tío querido y estar siempre.

La familia es el vínculo más grande y el apoyo ante las adversidades de la vida, mi familia es lo más importante que tengo y es lindo poder contar con cada uno de ellos siempre.

Ese amor infinito es lo único importante.

AGRADECIMIENTOS

- ♥ A la Revolución que ha hecho posible mi formación académica.
- ♥ A mis tutores MSc. Caridad Díaz Boffil y MSc. Jorge Luis Álvarez Marqués por su atención durante la preparación, organización y elaboración de este trabajo. Contar con la perseverancia y el incondicional apoyo de Caridad fue el mejor aliento.
- ♥ A mi otra familia Jorge Luis y Mary por el cariño infinito que siempre me demuestran, por siempre estar conmigo y apoyarme en todo.
- ♥ Al Dr. Gonzalo por abrirme las puertas de su centro de investigación, confiar en mí y aportarme con información que me servirá por siempre.
- ♥ A los amigos Lorena, Dr. Zulimar, Blanca, Dr. Carmen, Dr. Ana la Uruguaya, Dr. Ana de la Universidad Autónoma de Madrid, Dr. Pilar, Chema, Luis, Mafalda, Rafa, Paquita y familia, por ser tan especiales, apoyarme y hacerme sentir como en casa.
- ♥ A Hernán por permitirme la realización del trabajo en su finca agroecológica “Primavera”.
- ♥ A la Dr. Saray por confiar y apoyarme.
- ♥ A mis tías Maira y María Elena por demostrarme un amor incondicional y ser realmente especiales en mi vida.
- ♥ A mis vecinas Lucy, Milena y Mildre por tanto cariño y amistad.
- ♥ A mi Tío Chacón por su apoyo y hacer realidad mis sueños.
- ♥ A mi querida Yaidirys y familia por abrirme las puertas de su corazón y quererme.
- ♥ A mi querido amigo Yoandrys por su apoyo y su hermosa amistad sin límites.
- ♥ A Dayron por ayudarme en los momentos que lo necesité sin reparo en la parte experimental del estudio.

- ♥ A mis estudiantes del A-45 por preocuparse, ayudarme y darme siempre aliento.
- ♥ A Roberto León por su ayuda durante el desarrollo de los muestreos.
- ♥ A todos los compañeros de trabajo que me apoyaron incondicionalmente en la realización de este trabajo (Emérita Marta, Dania Nuñez, Iraní Placeres, Grettel Milián).
- ♥ A todos los que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

OPINIÓN DEL TUTOR

La degradación de los suelos producto del uso y manejo inadecuado es uno de los problemas a los que se enfrenta la Agricultura en los momentos actuales. El uso de fuentes alternativas orgánicas es una realidad en la práctica cotidiana que realizan nuestros campesinos por desarrollar una agricultura agroecológica mejor. No obstante se desconocen en dichas condiciones la magnitud de los procesos degradativos que atentan contra la calidad de los suelos.

En este contexto el trabajo realizado por la Ing. Marisol Fragela Hernández en opción al Título de Master en Ciencias, demuestra a partir de la determinación de un conjunto de descriptores biogeoquímicos la posible afectación al suelo producida por un manejo inadecuado.

La actualidad e importancia de este trabajo radica en que se realiza por primera vez en la provincia de Matanzas y algunas de sus determinaciones por primera vez en Cuba, realizándose evaluaciones químicas novedosas que permiten caracterizar el complejo húmico del suelo y que aportan valiosas conclusiones que permitirán a otros investigadores encausar sus estudios en este sentido.

Es de destacar la independencia y creatividad mostrada por la aspirante, el dominio sobre la temática y la constante superación a lo largo del estudio desarrollado.

Considero que el trabajo realizado, así como los resultados obtenidos y todo lo expuesto en la tesis que se defiende, son merecedores del otorgamiento del Título de Master en Ciencias Agrícolas.

Tutora: MSc. Caridad Díaz Boffill

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el nivel de impacto que realiza sobre el suelo el manejo de un sistema agrícola y por el desconocimiento de la magnitud cuantitativa y cualitativa de los disturbios que pueden ocasionar este manejo, se realizó un estudio que conllevó a la determinación de un conjunto de descriptores biogeoquímicos específicos para el medio edáfico. La investigación se realizó en la finca Agroecológica del productor Hernán González "Primavera", ubicada en Carretera de Jovellanos, San Miguel de los Baños, provincia de Matanzas. Se tomaron muestras de suelos del sistema estudiado y el testigo que fueron analizadas en tres réplicas en los laboratorios del grupo de investigación del Departamento de Suelos del Instituto de Recursos Naturales- Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, España. Los datos obtenidos se procesaron mediante el software Statgraphic plus versión 5.1 en español. Los resultados muestran que existe impacto en el sistema estudiado, debido al manejo inadecuado del lodo del biogás, presentándose afectación a la relación C/N del suelo, disminución de la disponibilidad de Nitrógeno, y de la composición cuantitativa de la macrofauna.

Palabras claves: Suelo, Impacto, Descriptores biogeoquímicos.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

μs: Microsegundo

AF: Ácidos fúlvicos

AE: Agricultura ecológica

AH: Ácidos húmicos

C: Carbono

CAF: Carbono de ácidos fúlvicos

CAH: Carbono de ácidos húmicos

CE: Conductividad eléctrica

CH: Carbono de humina

cm: Centímetro

Da: Densidad aparente

Dr: Densidad real

EHT: Extracto húmico total

g: Gramo

mg: Miligramo

MO: Materia orgánica

MOL: Materia orgánica libre

N: Nitrógeno

P₂O₅: Fósforo

Pt: Porosidad total

R: Réplica

ss: Suelo seco

SST: Sales solubles totales

TM: Tasa de mineralización

TR: Tasa de respiración

INDICE

Introducción	1
Problema	2
Hipótesis	3
Objetivos	4
Revisión Bibliográfica	5
1.Funciones del medio edáfico	5
1.1.Relación entre factores edáficos, climáticos y antrópicos	6
1.2.Situación actual de los suelos en el mundo	7
1.3.Los suelos de Cuba	7
1.4.Los suelos de la provincia de Matanzas	8
1.5.Característica de los suelos pardos sialíticos	9
1.6.Solución ante la degradación de los suelos	9
1.7.Suelos con sistema de rotación de cultivos	10
2.Agricultura Orgánica	11
2.1.Principios de la Agricultura Orgánica	12
2.2.Manejo ecológico del suelo	13
2.3.Los abonos orgánicos, su aplicación y efectos en el suelo	15
2.4.Características de los abonos orgánicos	16
2.5.Fertilización orgánica con residual de biogás	17
2.6.Aspectos favorables del biodigestor	17
3.Calidad de los suelos agrícolas	18
3.1.Características químicas	19
3.2.La materia orgánica y sus componentes	19
3.3.El pH del suelo	20
3.4.Conductividad eléctrica	21

3.5. Carbono orgánico total	21
3.6. Nitrógeno total	22
3.7. El fósforo en el suelo	23
3.8. El contenido de carbonatos	24
3.9. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo	24
3.10. Los lípidos en el suelo	25
4. Comportamiento físico e hidrofísico	26
4.1. El color	26
4.2. Estabilidad de agregados	26
4.3. Densidad aparente, densidad real y porosidad del suelo	27
5. Actividad biológica del suelo	27
5.1. Macrofauna edáfica	29
Materiales y Métodos	31
Resultados y discusión	36
Evaluación económica	59
Conclusiones	61
Recomendaciones	62
Bibliografía	62
Anexos	78

INTRODUCCIÓN

La humanidad se enfrenta a desafíos incrementados por el agotamiento de los recursos naturales. El hombre, por la ambición desmedida, tratando de conseguir cada vez mayores ganancias sin tener en cuenta el deterioro de los recursos naturales, ha provocado alteraciones en los ecosistemas naturales, muchas veces irreversibles (Omary, 2005). La degradación del suelo constituye un problema actual y el estudio para cuantificar su impacto adquiere mayor importancia cada día.

Diferentes indicadores que en él se determinan ayudan a cuantificar su desequilibrio, estos se aminoran por la exportación de los residuos de cosecha, la incorporación de fertilizantes minerales y enmiendas orgánicas para así compensar la pérdida de su fertilidad y destrucción periódica de la estructura a consecuencia de laboreos que aceleran la oxidación de la materia orgánica, este aspecto supone una transformación continua del suelo que precisa de un control constante para prevenir procesos de erosión, desertificación, compactación o formación de costras (MMA, 2006).

Una vez alterada la condición original del suelo tras el laboreo, se requiere de la intervención humana para lograr niveles aceptables de productividad y en este sentido la agricultura convencional ha dado paso a una serie de prácticas para la gestión sostenible de las tierras. A través de la agricultura de conservación es posible reducir los riesgos de degradación física del suelo, relegando la fertilización mineral y el laboreo intensivo a favor del empleo de fuentes alternativas de materia orgánica que aseguren unas propiedades favorables para la conservación de este recurso.

La determinación de indicadores químicos, físicos y biológicos del suelo en un sistema sometido a rotación de cultivos, en una finca agroecológica de la provincia de Matanzas, permite valorar el manejo actual que se realiza y evaluarla con el fin de mejorar el funcionamiento del mismo.

PROBLEMA

La acción del hombre sobre el agroecosistema mediante el uso y manejo del suelo, propicia la alteración en mayor o menor medida de sus propiedades, las cuales pueden afectar la calidad del medio edáfico y su preservación, desconociéndose en nuestro país por los productores la magnitud cuantitativa y cualitativa de los disturbios que puede ocasionar el manejo agrícola implantado.

HIPÓTESIS

Si conocemos el comportamiento cuantitativo y cualitativo de diferentes indicadores biogeoquímicos bajo la acción del uso y manejo del suelo, podemos evaluar la sostenibilidad del sistema agrícola empleado, con el fin de mejorar su productividad.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el nivel de impacto del manejo realizado en una finca agroecológica a partir de la determinación de un conjunto de descriptores biogeoquímicos específicos para el medio edáfico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar y clasificar morfológicamente el medio edáfico estudiado.
- Determinar indicadores químicos, físicos y biológicos que caracterizan el medio edáfico.
- Evaluar indicadores que permitan valorar la calidad de la materia orgánica y la actividad biológica en el sistema estudiado.
- Estimar el impacto sobre el medio edáfico que ocasiona el uso y manejo del suelo bajo la condición estudiada.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Funciones del medio edáfico.

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas agrícolas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico. El suelo es esencial para la vida, y cuando se utiliza de manera prudente se considera un recurso renovable. Es un elemento de enlace entre los factores bióticos y abióticos, se considera un hábitat para el desarrollo de las plantas y constituye el medio fundamental para la explotación agropecuaria y forestal.

Gracias al soporte que constituye es posible la producción de los recursos naturales, por lo cual es necesario comprender las características físicas y químicas para propiciar la productividad y el equilibrio ambiental (sustentabilidad). Los suelos son clasificados de acuerdo con su estructura y composición en órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series (Cabrera, 2000).

La producción de alimentos depende en un alto porcentaje de su uso. Es un legado de la naturaleza, que corre peligro debido a que el fondo de tierras agrícolas disminuye como resultado de la urbanización, construcciones industriales, carreteras, vías férreas, aeropuertos, redes eléctricas de alta tensión, instalaciones sociales deportivas, militares, sumándose a esto las pérdidas por erosión, salinización, drenaje deficiente, acidez y baja fertilidad, empantanamiento, desertificación y prácticas incorrectas como son: tala indiscriminada de bosques, agricultura migratoria, latifundista y de transnacional (Martín, 2006).

1.1. Relación entre factores edáficos, climáticos y antrópicos.

Los factores antropogénicos y naturales en combinación negativa pueden causar el deterioro paulatino de los suelos y por ende del medio ecológico.

Las condiciones climáticas por una parte, especialmente las temperaturas y la lluvia, ejercen una influencia determinante en las cantidades de materia orgánica y nitrógeno de los suelos, donde la descomposición de la materia orgánica se acelera en climas cálidos. Ante esta situación la acción del hombre en el suelo es unas veces positivas y otras negativas. Este se empobrece y destruye cuando sin un mejoramiento radical, sin las preocupaciones sobre la fertilidad en el futuro, se utiliza indiscriminadamente para obtener mayores rendimientos (Copley, 2008).

La actividad antropogénica a través de las labores de suelo influye decisivamente en los cambios que en él se producen y suelo se verá afectado de forma positiva o degradante de acuerdo a la explotación y las medidas que se apliquen para su conservación (Oldeman *et al.*, 2002).

Cuando un suelo virgen comienza a ser cultivado se establecen gradualmente nuevos y más bajos niveles de materia orgánica y nitrógeno. Tal descenso es normal y difícil de prevenir. No obstante si la práctica del cultivo se aplica correctamente, esta disminución es menor y los suelos pueden mantener potencialidades de producción aceptables (Soil Survey, 1994).

En sentido general, en nuestras condiciones de clima tropical el efecto de laboreo es mucho más marcado; por ello, las medidas deben ser rigurosas, a fin de mantener en los suelos altos potenciales de productividad, tratando de que la relación de los factores edáficos, climáticos y antrópicos sean una combinación favorable para lograr el fin deseado.

1.2. Situación actual de los suelos en el mundo.

La degradación de los suelos en el mundo constituye un serio problema a nivel mundial, limitando los niveles de producción, según Manlay *et al.*, (2007), solamente un 3 % de las tierras agrícolas no presentan limitaciones para la producción agropecuaria. Este fenómeno incide de forma marcada en las regiones tropicales, debido a que los procesos ocurren en forma más enérgica como resultado del clima, la aplicación de tecnologías sofisticadas con altos insumos en la agricultura y el subdesarrollo.

La solución de los principales problemas que afectan a los suelos agrícolas, debe ser vista con un enfoque sistémico e integrador y no como una solución aislada, pues se concatenan factores naturales y antrópicos.

Por otra parte la sustentabilidad de los sistemas de producción depende, fundamentalmente del mantenimiento de la productividad de los suelos a través del desarrollo, la restauración y el mantenimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas, regulada en gran medida por la capacidad de reciclaje de los recursos orgánicos y las actividades de los microorganismos, que deben ser favorecidas por las acciones de manejo que se realicen (Hernández y Morell, 2007).

Durán *et al.*, (2007) señalan que la degradación del suelo tiene lugar desde el momento en que se ejecutan por primera vez las actividades agrotécnicas. La manifestación de este proceso ha desencadenado que actualmente el área cultivable sea tan solo el 11% de la superficie total terrestre (Martín, 2006).

1.3. Los suelos de Cuba.

En Cuba las condiciones de formación de los suelos son poco cambiables, no obstante, son lo suficiente para que tengan gran significación sobre sus características y propiedades (Wilson *et al.*, 2001). El clima es uno de los factores de mayor importancia debido a que este está conformado por varios

elementos que tienen una fuerte influencia en los procesos de intemperismo de las rocas y minerales y sobre los propios suelos que se forman, la temperatura fluctúa entre los 24 y 27 °C lo que unido a la humedad relativa alta, casi en forma constante determinan las transformaciones. Las altas temperaturas afectan en muchos casos la actividad biológica, dañando procesos de transformación de la MO y acumulación de humus.

Delgado (2006) plantea que los suelos cubanos presentan problemas en cuanto a su estado degradativo (Ver anexo 1).

1.4. Los suelos de la provincia de Matanzas.

Según Vega y Sust (2002) los estudios pedológicos realizados a diferentes escalas en el territorio de Matanzas, determinaron que existe una gran variabilidad de suelos debido a la compleja situación geológica y geomorfológica que les dio origen. Según la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, los suelos de la provincia de Matanzas se ubican en 8 Agrupamientos, 22 Tipos y 51 Subtipos.

En el caso del agrupamiento de suelos pardos presentan un área de 78 639,50 ha, para un 10,44 % del total, con sus mayores extensiones en los municipios de Limonar, Jovellanos, Unión de Reyes, Colón y Los Arabos. Predomina en topografía desde ligeramente ondulada a ondulada, observándose las áreas más llanas en Los Arabos y Colón, donde por lo general existen con menor grado de desarrollo del perfil y con menor drenaje. Están sustentados sobre caliza suave. Son fértiles y están considerados entre los más productivos después de los Ferralíticos Rojos, a pesar de existir muchas áreas con alto contenido de carbonato de calcio y pH ligeramente alcalino. En algunas áreas están afectados por la erosión. Se usan en caña de azúcar, pastos y cultivos varios (Vega y Sust, 2002).

Existen algunas características propias de algunos suelos que constituyen factores limitantes para la producción agrícola, impidiendo el adecuado rendimiento de los cultivos (Ver anexo 2).

1.5. Características de los suelos Pardos Sialíticos.

Durante la formación de los suelos pardos sialíticos con carbonatos, se manifiesta el proceso de Sialitización, en condiciones de relieve ondulado-alomado, bajo un clima tropical de humedad alternante, principalmente con vegetación de sabanas secundarias y a partir de rocas carbonatadas ricas en calcio.

Son suelos que se forman y están representados por un horizonte principal Siálico; el cual se presenta en la composición mineralógica de la fracción arcillosa. El contenido en hierro libre en general no sobrepasa el 3% (Anon, 2011).

Las transformaciones mineralógicas provocan un arcillamiento del espesor del suelo, con aumento del contenido de arcilla en la parte superior del perfil. El tipo de arcilla predominante es la montmorillonita con un poco de presencia de ilita, minerales serpentinosos y cloritas. El Fe libre se acumula alrededor de 1 a 2 % y el suelo adquiere un color pardo, en ocasiones pardo amarillento (FAO-UNESCO, 1998).

1.6. Solución ante la degradación de los suelos.

El manejo inadecuado de los suelos ha conducido a la fuerte degradación actual del sistema suelo y de los agroecosistemas en general. Por esta situación se hace imprescindible, que siempre que inicie cualquier actividad productiva en los suelos, se conozca cuales son las condiciones reales existentes, lo que se puede lograr empleando los datos o estudios científicos realizados, unidos a un buen diagnóstico que complemente la información y que permita la toma de decisiones en cada caso (Austin *et al.*, 2006).

Esta toma de decisión permite conocer en el sistema objeto de estudio, las fortalezas, oportunidades, deficiencias y amenazas y así como plantea Durán (2007), aplicar una vía metodológica de estudio de las diferentes causas, factores, procesos, tipos y formas de los procesos degradantes o de sus potencialidades, para poder aplicar las medidas y técnicas que correspondan.

1.7. Suelos con sistema de rotación de cultivos

La rotación de cultivos se define como la sucesión recurrente y más o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno. Es una práctica muy antigua, la cual utilizada apropiadamente, contribuye de modo eficaz a controlar la erosión y a mantener la productividad de los terrenos (Alonso *et al.*, 1976).

La rotación de cultivos influye sobre las dinámicas del carbono y el nitrógeno y a su vez es una herramienta idónea para mantener la sostenibilidad agrícola.

La contribución de la rotación a la fertilidad del suelo es compleja y la situación más frecuente es la falta de materia orgánica en los suelos agrícolas, las rotaciones intensivas o con cultivos que dejan pocos residuos incrementan este déficit, en este sentido es importante considerar la contribución de cada cultivo al balance húmico. Siendo la base para lograr altas producciones sustentables, mantener los niveles de MO del suelo (Urbano y Moro, 1992).

Como otras medidas a tener en cuenta deben mantenerse la prolongación de los ciclos con cultivos de cosecha (esquemas estrictamente agrícolas), es necesario integrar la siembra directa, la fertilización y la rotación de cultivos. De igual forma la capacidad de almacenaje de agua del suelo y las características de su liberación son consideraciones importantes en determinar la intensidad de rotación apropiada.

Suelos profundos con texturas francas y altos contenidos de materia orgánica soportarán la mayor intensidad en cualquier clima. Suelos poco profundos y con limitaciones en la profundidad de desarrollo radicular, texturas arenosas, y/o bajos contenidos de materia orgánica limitan la intensidad de rotación posible.

Entre las ventajas que se encuentran en el sistema de rotación de cultivos según Morgan (2008) se encuentran:

Restablecimiento racional de los suelos.

Aprovechamiento racional de la fertilidad acompañado de la conservación de la estructura.

Incremento de nutrientes en el suelo.

2. Agricultura Orgánica.

La Agricultura Orgánica es una de las alternativas que surge como contraposición a la agricultura intensiva, aunque la ciencia y la tecnología que se proponen como prácticas en ella son tan antiguas como los orígenes mismos de esta actividad humana.

Freyre (1997) se refiere a esta tecnología como al conjunto de movimientos y corrientes que comenzaron, a inicios del siglo actual a proponer un nuevo paradigma de las ciencias agrícolas, que partiendo de una base ecológica común promueven modelos ajustados a cada condición ambiental, socioeconómicas y productiva, capaces de mantener la producción de alimentos sanos a la población a un costo socioeconómico razonable.

La agricultura orgánica se define por tanto como un sistema de producción que integra aspectos económicos, agronómicos, ecológicos y sociales. En este sistema se utilizan insumos agrícolas naturales (abonos orgánicos, reciclaje de rastrojo, abonos verdes, estiércol) que mantienen la biodiversidad, así como la fertilidad y salud del suelo, se promueve la

conservación de la biota y finalmente se minimiza el impacto ambiental de la actividad del hombre (Gallardo, 2008).

Cuesta (1998) en su definición de la producción orgánica plantea que en esta producción, donde no se aplican insumos químicos (plaguicidas, activos alimenticios, medicamentos, hormonas o fertilizantes entre otros) y se exige para con los animales condiciones de vida “más humanas” traen como resultado el perfeccionamiento de las instalaciones, además de una alimentación sana.

Según Gallardo (2001) la agricultura natural consiste fundamentalmente en reducir al máximo la incidencia del hombre sobre el suelo, logrando el equilibrio de los sistemas sobre la base de asociaciones de especies diferentes y la utilización de coberturas naturales como abonos. Se parte de que los procesos naturales crearan un suelo sano, si simplemente se reduce al mínimo la incidencia sobre él. Este método está dirigido a potenciar el uso integral de las fuerzas de la naturaleza en lugar de la fuerzas del agricultor.

2.1. Principios de la Agricultura Orgánica.

La Agricultura orgánica según la definición de la Federación Internacional de Movimientos de la Agricultura Orgánica (IFOAM), “es un sistema de agricultura que promueve la producción ambientalmente, socialmente, y económicamente sólida de la alimentación, la fibra, la madera, etc. En este sistema, la fertilidad de la tierra está considerada como la clave de la producción exitosa. Trabajando con las propiedades naturales de las plantas, los animales, y el terreno, los granjeros orgánicos aspiran a optimizar la calidad en todos los aspectos de la agricultura y del medio ambiente” (RAFI-USA, 2002).

La encuesta Soel (2003) estima que hay cerca de 23 millones de hectáreas en la producción orgánica global (Yussefi y Willer, 2003).

Los principios formulados por IFOAM (1998) fueron:

- Manejo y conservación del agua y el suelo.
- La incorporación al suelo de materia orgánica y de nutrientes minerales.
- Uso de la rotación de cultivos y policultivos.
- Manejo natural de plagas y plantas invasoras.
- Uso adecuado de máquinas e implementos agrícolas.
- Uso de fuentes alternativas de energía.
- Integración Agricultura - Ganadería.
- Calidad de los alimentos.
- Productividad y eficiencia económica Agropecuaria.
- Comercialización de los productos orgánicos.
- Conservación de la naturaleza y la dignidad humana.

La encuesta Soel, 2003 estima que hay cerca de 23 millones de hectárea destinadas a la producción orgánica global (Yussefi y Willer, 2003). Con tasas de crecimiento crecientes, los productos orgánicos conquistan cada vez más rápido las estructuras de mercado de alimentos a nivel mundial (Willer y Yussefi, 2007) y la causa está dada por la importancia de estos en el cuidado de la salud y la protección del medio ambiente (Kremen *et al.*, 2004).

2.2. Manejo ecológico del suelo.

El manejo ecológico de los suelos tropicales, radica en explotarlos teniendo en cuenta sus características de forma que no se afecten, en realizar labores en el momento adecuado, a la profundidad de su capa activa, con los instrumentos requeridos, no dejar descubierto el suelo, incorporar los restos de cosecha, mantener el nivel de la materia orgánica, aplicar el agua necesaria y drenar los excesos, mantener la fertilidad, conservar la estructura

grumosa o bioestructura y mantener la comunicación entre el suelo y el subsuelo (Durán, 2007).

La agricultura ecológica constituye un sistema de manejo agrosocial, en el que adquiere importancia tanto la producción de alimentos sin la aplicación de sustancias de origen industrial, como la diferenciación social de los agricultores que demandan un uso de la tierra “limpia” (Bello *et al.*, 2006). En los sistemas agrícolas ecológicos se mantienen sin perturbar algunos componentes del ecosistema, como pueden ser los árboles dispersos en el paisaje o la creación de setos verdes; se complementan los ciclos biogeoquímicos mediante la aplicación de enmiendas orgánicas, que se pueden aplicar frescas, poco evolucionadas, para el control de patógenos (Bello *et al.*, 2008), o compostadas, con lo que se consigue acelerar la madurez de la MO y se evitan problemas sanitarios o de fitotoxicidad vegetal. Con ello, se elimina la aplicación de sustancias de origen industrial, desconocidas para los microorganismos del suelo y en su mayoría nocivas para la salud humana (Labrador, 2002).

Los ecosistemas naturales que se establecen, cuando alcanzan un estado de evolución suficiente, presentan una alta auto organización interna que es regulada por la biodiversidad y que permite el funcionamiento del ciclo del carbono (en lo sucesivo C) y los nutrientes en el suelo incluso en presencia de perturbaciones (Altieri, 1999). Sin embargo, en los sistemas agrícolas (también denominados como agroecosistemas) se produce una simplificación considerable, reconocida directamente por la pérdida de diversidad, lo que requiere la intervención constante del hombre (Gómez Sal, 2007). El impacto del sistema de manejo es tal, que el ecosistema pierde su capacidad de autogestionarse, tanto más cuanto mayor es la intensificación agrícola (Swift y Anderson, 1993).

2.3. Los abonos orgánicos, su aplicación y efectos en el suelo.

Los abonos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos en todas las civilizaciones del mundo, siempre con buenos resultados, permitiendo la producción de alimentos en cantidades suficientes. Peña (1998) asegura que esto ocurre debido a que los residuos orgánicos al ser aplicados al suelo mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas, resolviendo los problemas de la fertilidad, además de aumentar la capacidad de resistencia a factores ambientales negativos.

Montero *et al.*, (1978) y Hadas *et al.*, (1983) basan el empleo de los abonos orgánicos en el valor del contenido de uno de sus elementos químicos principales como fuente de nutrientes, aplicando distintos materiales orgánicos a dosis variables de acuerdo con sus contenidos de nitrógeno. Lee y Bartlett (1976) utilizan el valor del carbono y Kirkham (1982) informan del uso de lodos residuales por sus concentraciones de fósforo.

Por su parte Jeavons (1991), plantea que el abonado orgánico es una de las prácticas más importantes para mantener un suelo productivo y Mayea (1993) afirma que esto es posible porque los ácidos orgánicos de estos abonos trabajan sobre los nutrientes del suelo y lo ponen con mayor facilidad al alcance de las plantas. También Álvarez *et al.*, (1995) informan que estos abonos pueden ser transformados por la acción de los microorganismos en biofertilizantes de alta calidad nutritiva.

2.4. Características de los abonos orgánicos.

Cuando la relación C/N de los abonos orgánicos es muy alta, es recomendable aplicar fertilizante nitrogenado para proveer a los microorganismos del N necesario para sus funciones vitales; reducir la relación C/N y el tiempo de descomposición y eliminar la fijación del N del suelo.

Por esa razón la calidad de un mismo abono orgánico puede variar de un lugar a otro, pero existen indicadores que son básicos para su evaluación sea cual fuera su origen o procedencia.

Requisitos:

- Humedad

- Mientras más baja sea el abono tendrá mayor calidad.
- Es deseable que tenga 50% ó menos.

- Relación C/N

- Es deseable que la relación C/N de los abonos orgánicos sea menor de 25 : 1 por las razones que se explicaron.

- Contenido de materia orgánica.

- El contenido de materia orgánica es la base de todo abono orgánico. En el Epígrafe 2 se expresó que su contenido debe ser de 50 % o más, expresado en base seca.

- Contenido de nutrientes minerales

- Aunque el aporte de nutriente minerales no es el aspecto más importante en los abonos orgánicos para definir su calidad, su contenido tiene gran valor económico y práctico, especialmente cuando se establecen los sistemas de agricultura sostenible.
- En el abono orgánico es deseable que su contenido de N, P₂O₅ y K₂O sea equilibrado y lo más alto posible, de modo que cuando se aplique una dosis dada, los nutriente minerales que aporte sean suficientes para el desarrollo de cualquier cultivo, sin necesidad de hacer correcciones con la aplicación de fertilizantes químicos (Suárez *et al.*, 2002).

2.5. Fertilización orgánica con residual de biogás.

El residuo orgánico que se descarga del biodigestor obtenido de los procesos de digestión anaerobia es un lodo-liquido fluido de excelentes propiedades fertilizantes, el cual está constituido por la fracción orgánica que no alcanza a

degradarse y por el material orgánico agotado. Su constitución puede variar mucho, dependiendo de las variaciones en el contenido de la materia orgánica utilizada para alimentar el biodigestor y del tiempo de residencia de dicho material dentro de él (Comisión Nacional de Energía, 1992).

Este efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación, pero con muchas posibilidades en el futuro (Carballo *et al.*, 2003).

Según Hernández (2005) el producto de la digestión es considerado como un fertilizante debido a que su composición mineral y orgánica es capaz de influir sobre plantas y cultivos elevando sus productividades.

Por otro lado es considerado como excelente mejorador y acondicionador del terreno, por ser un producto capaz de mejorar las propiedades físicas y físico-químicas del suelo.

El fertilizante de las plantas de biogás añade humus y apoya la actividad microbiológica de los suelos. Incrementa la porosidad del terreno y las propiedades de retención de la humedad (Braulio *et al.*, 2004).

2.6. Aspectos favorables del biodigestor.

El uso del biodigestor constituye una alternativa al uso de las mal llamadas basuras, mediante la utilización de una tecnología apropiada, ofreciendo un modelo ecológico adaptado a las condiciones de cada lugar (Oliva *et al.*, 2006) y con grandes resultados en este sentido si funciona favorablemente y está bien construida.

Según López (1999) con la instalación de biodigestores se derivan una serie de ventajas que se agrupan en:

Relacionadas con el Medio Ambiente:

- Reduce la producción de gas metano.
- Evita los malos olores entre el 90 y 100 %.
- Se evita en un 100 % la contaminación de suelos y agua, pues los excrementos constituyen uno de los elementos más contaminantes de nuestro medio ambiente.
- Produce fertilizante como una opción para sustituir la agricultura tradicional por la orgánica.

La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro y es una tecnología de avanzada (Anon, 2006). Aunque queda mucho por investigar acerca de lo que pasa dentro del biodigestor (Cruz *et al.*, 2004).

Además de que su uso ofrece un modelo ecológico adaptado a las condiciones de cada lugar donde se implementan (Oliva *et al.*, 2004).

3. Calidad de los suelos agrícolas.

El concepto de calidad del suelo evoca varias acepciones 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 sus procesos y provee 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, 2007).

Para interpretar la condición de un suelo en términos de su calidad, el criterio sugerido por Larson y Pierce (1994), referido a la aptitud para el uso se considera el más adecuado y se define por tanto como *la capacidad o aptitud del suelo de soportar el crecimiento de los vegetales sin que esto resulte en la degradación del suelo o en un daño ambiental*. A su vez involucra dos

conceptos: la calidad inherente del suelo para el crecimiento de los cultivos y la calidad dinámica influenciada por el uso o manejo.

La caracterización de los cambios positivos o negativos en la calidad del suelo, provee un método efectivo para evaluar directa o indirectamente los impactos ambientales de las decisiones de manejo por parte del hombre. Respecto a la producción de cultivos, las funciones del suelo están orientadas en alimentar y mantener el crecimiento de las plantas (Cercana *et al.*, 2006). Estas funciones están relacionadas a la eficiencia con que el suelo provee nutrientes esenciales y un ambiente necesario para lograr una buena conversión de CO₂ usando la energía de la luz solar (vía fotosíntesis).

3.1. Características químicas.

La evaluación de las propiedades químicas del perfil del Suelo, a partir de sus resultados analíticos, posee una gran importancia práctica para comprender la dinámica de toda una serie de procesos y fenómenos que se desarrollan en los suelos de forma natural o antropogénica. Éstas propiedades, de forma aislada o de conjunto pueden limitar el normal desarrollo de los cultivos por su relación con la fertilidad y el nivel nutricional del suelo (Braulio *et al.*, 2007).

3.2. La materia orgánica y sus componentes.

La mayor parte de la materia orgánica del suelo tiene origen vegetal y proviene de la vegetación herbácea espontánea, de los bosques, de los restos de cosecha; si bien es cierto que organismos como los actuales actinomicetos, bacterias, algas y hongos, contribuyen con cantidades nada despreciables, en realidad solamente las plantas superiores y algunos organismos autotróficos (bacterias fotosintetizadoras y algas) son las fuentes primarias de sustancias orgánicas del suelo, ya que todos los demás microorganismos son heterotróficos y viven a expensas de la materia

orgánica ya formada, transformándola durante el proceso de su actividad vital (Compton y Bone, 2008).

Las plantas superiores influyen en la formación del suelo, tanto durante el período de su crecimiento y desarrollo como después de muertas, cuando sus residuos aéreos y radicales caen en la superficie o quedan formando parte del espesor del suelo.

La materia orgánica del suelo está constituida por un sistema complejo de sustancias, cuya dinámica se determina por la admisión continua de residuos orgánicos animales y vegetales existentes en el suelo y su constante transformación bajo la acción de factores biológicos, físicos y químicos (Ruiz, 2004).

Las fuentes naturales de materia orgánica del suelo, son los tejidos vegetales y animales, siendo más importante y constituyendo el mayor aporte, los tejidos vegetales (85%); las hierbas secas, hojas, ramas, raíces, lombrices, ciempiés, hormigas y otras formas de vida y porciones vegetales que incorporadas al suelo forman parte importante de él. La distribución en cantidad y profundidad de la materia orgánica, varía de acuerdo a las características morfogénicas, manejo, sistemas de explotación y otros (Soria, 2001).

3.3. El pH del suelo.

El pH expresa la concentración de iones H^+ en la solución del suelo. Se considera un parámetro edáfico muy importante por estar correlacionado con otras propiedades como la capacidad de intercambio catiónico, la asimilación de los macronutrientes de las plantas cultivadas, la actividad biológica y los procesos de sorción/desorción de contaminantes orgánicos, plaguicidas y metales pesados. En los suelos con altos contenidos de aluminio, el pH juega un papel importante en la solubilidad o precipitación de este elemento, de manera que en suelos con $pH < 4,5$ se puede producir fitotoxicidad. De la

misma forma contar con un pH que clasifique de alcalino no es para nada favorable, porque este aspecto condiciona el desarrollo de procesos que limitan el desarrollo de la fauna y del propio suelo como sistema (Fancelli, 2006).

3.4. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de iones intercambiables en el suelo y fácilmente asimilables por las plantas, lo cual está relacionado con la dinámica de los ciclos biogeoquímicos así como con el efecto de agregación de determinados iones, su determinación ayuda a establecer una relación de este indicador con las SST presentes en el suelo, determinándose a partir de esta concentración cuando aparecen valores mayores o iguales que 1 (Hernández, 2009).

3.5. Carbono orgánico total.

La materia orgánica del suelo está formada por restos y productos de transformación de plantas, animales y microorganismos, que están asociados en su mayor parte a la fracción mineral del suelo (Traina *et al.*, 2002). La importancia de la determinación de la materia orgánica en suelos agrícolas reside en las numerosas funciones agroecológicas que ejerce sobre los mismos, que se traducen en un aumento de los niveles de fertilidad, la estabilidad de agregados, la retención hídrica en el suelo, la liberación de nutrientes a la solución del suelo o la regulación en la concentración de contaminantes (Walkley, 1947). La acumulación de materia orgánica en el suelo depende de un amplio número de factores abióticos y bióticos, como el clima, el sustrato geológico, así como de la actividad microbiana del suelo e incluso de las prácticas de manejo que se realizan en el suelo agrícola. De hecho, el contenido de materia orgánica en el suelo puede variar de menos del 1 % a más del 10 % en los ecosistemas forestales. Sin embargo, aunque

se ha avanzado mucho en el conocimiento de los procesos de humificación del carbono, aún no se puede explicar satisfactoriamente por qué unos suelos contienen más C que otros y cuáles son, en los distintos casos, las funciones que éste realiza en los suelos cultivados (Hernández, 2009).

En el caso de los suelos agrícolas, numerosos trabajos en la literatura muestran cómo la intensidad del sistema de manejo es uno de los factores que más condiciona que el suelo actúe como un emisor y no como un sumidero de C (Lal, 2006; West y Six, 2007; Jastrow *et al.*, 2007).

En efecto, los suelos pueden representar un importante sumidero de C, pero no todos y no siempre. Existen diferentes aproximaciones para estimar el C de suelo.

3.6. Nitrógeno total.

La determinación del contenido en nitrógeno total (orgánico y amoniacal) tiene un gran interés agroquímico en los agroecosistemas, ya que el nitrógeno (N) es uno de los elementos esenciales para el desarrollo del sistema trófico y constituye uno de los factores limitantes para el desarrollo de los cultivos (Shulten *et al.*, 1998). Por regla general, el N se fija al suelo a través de microorganismos fijadores de N₂ y se emite nuevamente a la atmósfera en forma de amonio o se libera en forma de nitrato en el agua de lluvia (Hernández, 2009).

El N es mucho más móvil en los ecosistemas terrestres. Por ello en ecosistemas sometidos a frecuentes perturbaciones es más probable encontrar limitaciones de este elemento, aunque no siempre es así (Sardans *et al.*, 2007).

En este sentido son previsibles los cambios en la disponibilidad de nutrientes en respuesta al cambio climático, lo que puede dar lugar a escenarios nutricionales nuevos para las plantas (Sardans *et al.*, 2008).

3.7. El fósforo en el suelo.

El fósforo como elemento es el más importante en contenido. Su función principal es participar en todos los procesos y reacciones energéticas de la planta. En el suelo hay suficiente cantidad de P para satisfacer las necesidades de los cultivos durante muchos años, sin necesidad de hacer aportaciones. Pero, únicamente puede ser asimilado por las plantas el fósforo soluble contenido en la solución del suelo, y éste representa una parte muy pequeña del total (Bernal *et al.*, 2007).

Las ganancias se producen por los siguientes procesos:

- Mineralización de la materia orgánica.
- Meteorización de los minerales del suelo.
- Aportación de abonos minerales.

Las pérdidas se producen por los siguientes procesos:

- Extracción por plantas y microorganismos. Este fósforo queda inmovilizado temporalmente hasta que es devuelto al suelo con los residuos orgánicos.
- Insolubilización bajo ciertos compuestos. Una parte de este fósforo insoluble se recupera, pero el resto se pierde definitivamente para los cultivos.
- Arrastre con el agua de percolación. Estas pérdidas son muy pequeñas.
- Arrastre por erosión de las capas superficiales (Sowden *et al.*, 1976).

3.8. El contenido de carbonatos.

Los carbonatos de calcio y de magnesio se encuentran ampliamente distribuidos en el suelo. Se disuelven con relativa facilidad en agua, al descarboxarse por la acción del CO₂ atmosférico, por lo que se pierden o son distribuidos con rapidez. Su presencia, aún en cantidades tan pequeñas como el 1%, puede elevar el pH por encima de la neutralidad, influyendo

directa e indirectamente en el proceso de humificación (provocando inmovilización de las fracciones orgánicas solubles) y en las propiedades físicas del suelo (formación de agregados), (Almendros *et al.*, 1985).

3.9. Fraccionamiento de la MO del suelo.

La separación de las distintas fracciones de la MO del suelo permite cuantificar una serie de constituyentes que, en función de que sean particulados, solubles o coloidales, se denominan genéricamente como materia orgánica libre, ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), humina ligada a óxidos o arcillas, y humina no extraíble o residual (Velthorst *et al.*, 2001). El contenido de C en estas fracciones se relaciona con la eficacia del ciclo biogeoquímico del C y con la calidad ambiental de la MO desde el punto de vista de su actividad en el transporte e inmovilización de elementos y en la formación de complejos organominerales, lo que permite utilizarlos como indicadores edáficos (Kononova, 1982).

Los AH constituyen una de las fracciones más importantes del humus, pues este compuesto tiene notable influencia en las propiedades productivas de los suelos. Se consideran sustancias de gran peso molecular, que se forman con preferencia en un medio neutro o ligeramente básico, donde haya buena presencia de calcio, lo cual favorece la condensación.

Los AH son los que más favorecen algunas propiedades del suelo. Proporcionando a este una buena granulación, ya que son excelentes cementantes. Aumentan el contenido a agua retenida, por su elevada capacidad de absorción. A causa de su notable capacidad de intercambio catiónico influyen en alto grado en la fertilidad de los suelos. Cuando son absorbidos directamente por las plantas intervienen en el metabolismo, especialmente en la respiración. Es un reflejo de factores propios y externos del suelo (Almendros, 2008 c).

Otro grupo importante obtenido a partir del fraccionamiento de la materia orgánica del suelo son los AF. Estos son bastante agresivos, con fuerza suficiente para atacar a los minerales del suelo, forman sales solubles en agua durante cualquier reacción de la disolución del suelo; por eso se lavan por las aguas descendentes de la parte superior del suelo, a diferencia de los ácidos húmicos cuando reaccionan con el calcio (Almendros *et al.*, 2009).

3.10. Los lípidos en el suelo.

Los lípidos se definen convencionalmente como compuestos insolubles en agua y extraíbles con solventes apolares. Aunque se pueden clasificar de muchas formas. La mayoría de los lípidos de suelo provienen de los procesos de descomposición bacteriana y humificación de restos animales, vegetales y fúngicos (Dinel *et al.*, 1990). La vegetación no sólo contribuye al contenido total y naturaleza de estos lípidos, sino que favorece determinadas poblaciones de microorganismos (Jambu *et al.*, 1978). En consecuencia, el contenido de lípidos del suelo varía a lo largo del año, dependiendo de la estación y contenido de nutrientes del suelo. El interés de estudiar los lípidos de suelo está en el hecho de poder reconstruir los procesos de humificación dominantes en los agroecosistema en estudio, así como discernir el efecto del sistema de manejo sobre la biodiversidad edáfica. Además, cada especie presenta un patrón característico de lípidos (de alcanos y ácidos grasos) que se modifica en el suelo en forma dependiente de su composición y manejo.

4. Comportamiento físico e hidrofísico.

En opinión de Narro (1994) el concepto de estado físico e hidrofísico del suelo está íntimamente ligado al de fertilidad. Por fertilidad se entiende el equilibrio que existe entre el estado físico del suelo y el medio circundante para el desarrollo de un ecosistema vegetal dado (Flores *et al.*, 1996). En opinión de Voronin (1990) el estado físico del suelo es el resultado de la

interacción de las fases líquida y sólida del suelo. Una definición más esclarecedora del concepto al establecer que el estado físico del suelo es el resultado de la interacción de los componentes mineral, orgánico, líquido, gaseoso y biológico en el suelo.

Dada la complejidad del sistema suelo muchos métodos (físicos, hidrofísicos, químicos, biológicos) son utilizados para la evaluación de su comportamiento y propiedades. Desde su mismo surgimiento la Ciencia del Suelo ha utilizado los métodos físicos de investigación, muchos de los cuales fundamentan las técnicas tradicionales (Flores *et al.*, 1996).

4.1. El color.

El color es un indicador que aporta datos necesarios para la clasificación de los suelos cultivados o no cultivados, así como para obtener nuevos descriptores de las características edáficas y evolución de los suelos en estudio, fundamentalmente en relación con el contenido total y grado de transformación de la MO.

Es importante en la interpretación de fenómenos, propiedades y características que ocurren en el suelo en condiciones de campo (Vares *et al.*, 2001).

4.2. Estabilidad de agregados.

La estabilidad estructural de los agregados que conforman el suelo mide la resistencia de este a la degradación física debida a perturbaciones tales como el impacto de las gotas de lluvia, los procesos erosivos, el laboreo, etc. Los agregados de suelo constituyen una forma de empaquetamiento en el que la MO puede quedar asociada a la fracción mineral. En este sentido, la superficie específica de los diferentes minerales u óxidos puede influir notablemente en la unión de la fracción orgánica a la mineral y el tamaño del poro en la actividad microbiana (Van Bavel, 1949).

La estabilidad estructural es una condición muy importante de la estructura de los suelos, ella representa la resistencia e la estructura a su degradación, ya que la estructura como propiedad física posee cierto dinamismo, es decir, puede sufrir degradación y es capaz de regenerarse acorde al manejo que hagamos de la misma (Vandermeer *et al.*, 1995).

4.3. Densidad aparente, densidad real y porosidad del suelo.

La densidad aparente expresa el peso de un suelo. En este caso se calcula el volumen total del mismo (espacio ocupado por los sólidos y los espacios de los poros conjuntamente). La densidad aparente puede verse afectada por diferentes factores entre los que se encuentran: la textura, la estructura, la compactación, el laboreo y la materia orgánica.

La densidad aparente (d_a) y la porosidad del suelo son medidas indirectas del grado de compactación o empaquetamiento de las partículas del suelo. Se expresan en peso por unidad de volumen ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) y su valor depende de la textura y la estructura del horizonte en estudio. La densidad real es determinada a través de d_a y la P_t del suelo (Fundora, 1995).

5. Actividad biológica del suelo.

El estudio de la actividad biológica del suelo en terrenos agrícolas tiene un doble interés: por un lado, permite evaluar el impacto del sistema de manejo (laboreo e incorporación de enmiendas orgánicas) sobre la biodiversidad del suelo, y por otro lado, cuantificar qué porción del C de suelo agrícola se está mineralizando (desprendido a la atmósfera en forma de CO_2) (Almendros *et al.*, 2001).

Los valores de respiración por otra parte constituyen indicadores a medio y corto plazo de la calidad de los aportes orgánicos en el suelo agrícola (Hanegraaf *et al.*, 2007).

La tasa de mineralización y respiración invitro refleja la mayor o menor biodegradabilidad de la MO, permitiendo diferenciar suelos con humus más estable (bajos valores de coeficiente de mineralización) de otros en los que la MO es posiblemente más joven o está menos incorporada a la fracción mineral (Almendros *et al.*,2001).

5.1. Macrofauna edáfica.

La macrofauna del suelo incluye a los invertebrados visibles a simple vista que viven, total o parcialmente, dentro del suelo o inmediatamente sobre él. Éstos invertebrados (lombrices de tierra, termes, hormigas, milpiés, ciempiés, arañas, escarabajos, gallinas ciegas, grillos, chicharras, caracoles, escorpiones, chinches y larvas de moscas y de mariposas) pueden incluir más de un millar de especies en un sólo ecosistema y alcanzar densidades y biomاسas de más de un millón de individuos y más de una tonelada por hectárea, respectivamente. Estos organismos ejecutan múltiples funciones en el ecosistema y pueden ser divididos en varias clases, usando diversas clasificaciones funcionales (Carmona *et al.*, 2002).

En los trópicos la macrofauna es la fauna animal más conspicua del suelo e incluye los invertebrados con un diámetro mayor de 2 mm y fácilmente visibles en la superficie o interior del suelo. Entre sus miembros se encuentran los termes, las lombrices de tierra, los escarabajos, las arañas, las larvas de mosca y de mariposa, los caracoles, los milpiés, los ciempiés y las hormigas. De estos organismos, los escarabajos suelen ser los más diversos (con mayor número de especies), aunque en abundancia predominan generalmente los termes y las hormigas y en biomasa las lombrices de tierra (Álvarez *et al.*, 2011).

La abundancia de toda la macrofauna puede alcanzar varios millones de individuos por ha y su biomasa varias toneladas por ha. Su diversidad podría llegar a superar el millar de especies en ecosistemas complejos (como la

selva tropical), aunque todavía carecemos de datos exactos sobre la diversidad específica de la macrofauna tropical edáfica en un ecosistema dado (Chen *et al.*, 1977).

Para los usos estudiados, la macrofauna pudo ser agrupada en cuatro grupos funcionales importantes, siempre presentes en todos los usos: ingenieros del suelo, detritívoros de la hojarasca, herbívoros y depredadores (Castillo *et al.*, 2011).

La macrofauna puede además subdividirse en organismos epigeos, endogeos y anécicos (Lavelle, 1997), presentando cada categoría un papel diferente en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque miembros de una misma categoría (los endogeos) pueden también tener efectos distintos sobre el suelo (compactantes y descompactantes). Los epigeos viven y comen en la superficie del suelo; la mayor parte se alimentan de la hojarasca (macroartrópodos detritívoros, pequeñas lombrices de tierra pigmentadas), otros comen plantas vivas (larvas de mariposas, caracoles) y otros (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos) son predadores del resto de la fauna. La función primordial de los epigeos es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición.

Algunos individuos o grupos de la macrofauna (e.g. lombrices de tierra, termites u hormigas) pueden actuar como ingenieros del ecosistema (Jones *et al.*, 1994), al realizar cambios físicos en el suelo que controlan la disponibilidad de los recursos para otros organismos edáficos, incluyendo las plantas y sus raíces. Con su actividad los ingenieros crean estructuras físicas biogénicas que ejercen un efecto regulador sobre los organismos menores a través de: la competencia por los recursos, principalmente materia orgánica, la activación de la microflora edáfica, vía mutualismos y el “priming effect”, su influencia en el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes y cambios en la actividad rizosférica, como el crecimiento de raíces y de poblaciones de organismos rizosféricos (Brown *et al.*, 2000b).

Mediante un sistema de digestión simbiótica con la microflora del suelo, las lombrices también promueven la fertilidad produciendo la mineralización del material orgánico y la movilización de nutrientes necesarios para el crecimiento y producción de las plantas (Lavelle, 1997).

Junto a las hormigas (Insecta: *Hymenoptera: Formicidae*) y a las larvas de los insectos de suelo (Insecta: *Coleoptera: Scarabaeidae, Curculionidae, Elateridae, Chrysomelidae*), modifican la estructura del suelo mediante la formación de macroporos y agregados (Linden *et al.*, 1994).

Son numerosos los estudios sobre cómo los sistemas de cultivo influyen sobre los organismos que viven en la superficie del suelo (Carmona *et al.*, 2002; Carmona *et al.*, 2004; Cicchino, 2003; Marasas *et al.*, 2001; Turienzo *et al.*, 2001). Sin embargo, es escasa la información disponible sobre los organismos que viven o cumplen parte de su ciclo de vida dentro del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la finca en estudio

El estudio se realizó en la finca “Primavera” del productor agroecológico Hernán Hernández, situada en Carretera Jovellanos, San Miguel de los Baños, Matanzas, Cuba.

Coordenadas: 33° 56´ 27´ N y 46° 59´8´´ W.

Información sobre la finca y el sistema estudiado.

Para este estudio se seleccionó un sistema agroproductivo con rotación de cultivos.

Se trabajó con la información sobre el uso y manejo histórico (de los últimos 5 años) del área en estudio, teniendo en cuenta sistema de cultivo, aplicaciones de enmiendas orgánicas y químicas, así como las labores agrícolas realizadas.

La finca es integral y agroecológica (de referencia Nacional), cuenta con diferentes especies de animales como ganado porcino y vacuno, aves, abejas para la producción de miel y peces en dos lagunas artificiales.

Posee un biodigestor como sistema eficiente en cuanto a depuración de residuales contaminantes para el medio, producción de energía y abono orgánico, con grandes potencialidades para el incremento de las producciones.

El área de estudio posee un relieve ondulado y ocupa 0,75 ha. Se realiza la rotación de maíz (*Zea mais, L*) con hortalizas, fundamentalmente col (*Brassica olerácea*), y esta rotación es realizada de forma adecuada. El manejo de la fertilización se realiza con aplicaciones de efluente de lodo de biogás obtenido de ganado porcino en aplicaciones que se combinan con el riego y desconociéndose las dosis que se emplean. Su frecuencia aumenta en el período de seca (teniéndose en cuenta las condiciones climáticas). No se realizan aplicaciones de fertilizantes químicos.

Los resultados se comparan con un área testigo de igual tipo de suelo que históricamente ha estado cubierta de pastos naturales, con un desarrollo muy pobre y que posee un área de 0,88 ha.

Caracterización morfológica del suelo.

Se realizaron dos calicatas en testigo y sistema de rotación de cultivos, estas fueron evaluadas por los especialistas MSc. Jorge Luis Álvarez, MSc. Dayron Pérez y la autora de este trabajo.

Clasificación del suelo.

Se realiza la clasificación del suelo según metodología de Hernández *et al.*, 2006.

Caracterización del efluente de lodo de biogás.

El efluente del biogás fue caracterizado en los laboratorios del grupo de investigación del Departamento de Suelos del Instituto de Recursos Naturales- Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, España. Seleccionándose tres réplicas en cada caso.

Algunas características del efluente.

Indicadores	Valor obtenido
pH	7,6
C (%)	14,3
N (%)	0,58
C/N	28,47

El pH del residual se encuentra en el rango óptimo que es de 6,5-7,6 según (Hernández, 2005).

Se observa que el efluente es muy rico en carbono, con un valor alto de relación C/N (mayor de 25).

Determinación de las propiedades químicas y físicas del suelo.

El estudio se realizó en los laboratorios del grupo de investigación del Departamento de Suelos del Instituto de Recursos Naturales- Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, España.

Se tomaron muestras de suelo hasta una profundidad de 20 cm.

Se realizaron tres réplicas para cada uno de los indicadores determinados.

Determinaciones químicas realizadas:

- pH: Según Metodología de Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología, 1973.
- CE: metodología de Bower y Wilcox (1965), utilizando un conductímetro Crison 2000.
- Contenido total de carbonatos: método del calcímetro de Bernard, calculado según Guitián y Carballas, 1976 (Ver anexo 12).
- Nitrógeno orgánico total: método de Kjeldahl (Piper, 1950) combinado con método colorimétrico según Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología, 1973.
- Fósforo: según metodología de (Blakemor *et al.*, 1987).
- Carbono orgánico total: método de oxidación parcial del suelo con dicromato potásico en medio ácido y para determinación de contenido de MO según (Walkley y Black, 1934) (Ver anexo 13).
- Fraccionamiento de la materia orgánica: metodología aportada por (Duchaufor, 1975 y Velthorst *et al.*, 1990) (Ver anexo 14).
- Extracción de lípidos del suelo: Se extraen con éter de petróleo y se separan e identifican por cromatografía gaseosa (Dinel *et al.*, 1990) (ver anexo 15).

Determinaciones físicas realizadas:

Color: según código Munsell (1975) y el método de (Vares *et al.*, 1998) (Ver anexo 9).

Estabilidad de agregados: método MWD (Mean Weight Diameter), (Van Babel, 1949) para la cuantificación de las partículas en un tamaño de tamiz conocido. Para la destrucción de las partículas se utiliza la metodología propuesta por (Henin *et al.*, 1969) (Ver anexo 16).

Densidad aparente y Pt: método del cilindro, tomándose muestras de 0-10 cm y 10-20 cm respectivamente en ambos sistemas estudiados según USDA (1971) .

Determinaciones biológicas realizadas:

Actividad biológica del suelo: con el uso de un medidor con un analizador de gas Carmhograph-12 (Wosthoff) método de (Almendros *et al.*, 1990) (Ver anexo 17).

Recolección y Densidad de la macrofauna edáfica:

según la Metodología del Programa Internacional “Biología y Fertilidad del Suelo Tropical” o TSBF (Anderson e Ingram, 1993; Lavelle *et al.*, 2003); con apoyo especializado, a través de monolitos de suelo de 25 x 25 x 30 cm distanciados al menos en 20 metros, bajo un diseño completamente aleatorizado. Se tomaron 6 monolitos de suelo, para un total de 12 monolitos procesados párale testigo y rotación de cultivos. La macrofauna se recolectó manualmente *in situ*, temprano en la mañana y se preservó en alcohol 75 (3:1).

En general la macrofauna se separó por phylum y clases, teniendo en cuenta diferentes trabajos con referencia a la sistemática y taxonomía de distintos grupos de la macrofauna (Brinkhurst y Jamieson, 1972; Borror y DeLong, 1976; Pérez-Asso, 1998; Brusca y Brusca, 2003). Su clasificación desde el punto de vista funcional se realizó de acuerdo a Lavelle (1997).

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphic plus versión 5.1 en español, realizando la descripción de las muestras y una comparación entre medias a través de una prueba de hipótesis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica del suelo

Una vez realizada la caracterización morfológica del perfil de suelo para el testigo y el sistema de rotación de cultivos se obtuvo el siguiente resultado:

Perfil 1(testigo) (Ver anexo 3):

Los factores que inciden en la formación del suelo en estudio son el relieve y el material originario.

Horizontes reconocidos y su profundidad:

A: 0-10 cm

AB: 10-19 cm

(B): 19-34 cm

BC: 34-42 cm

C: 42-70 a+

Horizonte A: Color 10 YR 3/2 en húmedo, bajo contenido de MO, arcilla de color pardo claro, estructura poliédrica, consistencia medianamente firme, abundantes raíces, no reacciona el HCl, transición poco notable. Presencia a la vista de macrofauna.

Horizonte AB: color 10 YR 4/2 en húmedo, más plástico y arcilloso que el anterior, estructura poliédrica, pequeñas manchas amarillentas, consistencia medianamente firme, abundante raíces, transición notable aunque irregular, reacciona ligeramente al HCl.

Horizonte (B): 10 YR 5/4 en húmedo, arcilla pardo amarillenta, menos plasticidad con relación al horizonte anterior, estructura poliédrica más fina, consistencia medianamente friable, menor proporción de raíces finas que se mueven en sentido vertical, no hay manifestación de compactación, buena densidad, transición notable e irregular, reacciona ligeramente al HCl.

Horizonte BC

Arcilla calcárea de color pardo amarillento con manchas blanquecinas, estructura granular bien definida con algunas gravas y piedras pequeñas,

consistencia friable, reacciona fuertemente al HCl, transición poco notable, presencia de raíces.

Perfil 2 (Sistema de rotación de cultivos) (Ver anexo 4):

Los factores formadores que inciden en la formación de este suelo son el relieve y el material originario.

Horizontes reconocidos y su profundidad:

A1p: 0-20 cm

(B): 20-30 cm

BC: 30-44 cm

C : 44-60 cm

Horizonte A1p: 7,5 YR 2/3 en húmedo, suelo perturbado, presenta arcilla de color pardo oscuro, estructura de granular a poliédrica, consistencia medianamente friable, transición notable irregular, abundantes raíces, algunas piedras, presencia de gravas pequeñas, reacciona al HCl.

Horizonte (B): 10 YR 4/2 en húmedo, arcilla de color pardo amarillento, estructura poliédrica, consistencia más firme, gravas pequeñas, más plástico que le anterior, menor cantidad de raíces, transición notable en forma de lenguetas profundas, reacciona al HCl.

Horizonte BC: 2,5 Y 6/4 en húmedo, arcilla amarillento parduzco claro, con manchas blanquecinas, presencia de gravas pequeñas, estructura poliédrica fina, consistencia friable, menos arcilloso que le anterior, pocas raíces, transición irregular con forma de lenguetas notables, fuerte reacción al HCl.

Una vez realizada la caracterización morfológica del suelo se define la existencia de la limitante relieve- erosión. La causa podría calificarse de natural, y su presencia como el resultado del proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas sobre la superficie del suelo (UNCCD, 2007).

Esta limitante encontrada depende de la acción conjunta de las causas y factores erosivos, manifestándose sus formas aceleradas por la intervención

del hombre sobre el medio natural. Su manifestación está dada por causas tales como la lluvia, la escorrentía, el viento y la gravedad, mientras que los principales factores erosivos son: el régimen climático, las rocas formadoras, el relieve, la vegetación, el suelo y el hombre. Estos aspectos coinciden con lo planteado por Álvarez (2002).

Al respecto Torres Quevedo (2007), encuentra este tipo de manifestación asociada directamente a la meteorización de la roca madre, la escorrentía, el transporte de materiales y la sedimentación de las partículas que en el suelo estudiado son fenómenos evidentes que ocurren por el relieve presentado.

Clasificación del suelo

El suelo que posee el área tomada como testigo y el sistema de rotación de cultivos es el mismo y se clasifica según (Hernández *et al.*, 2006) como: Pardo sialítico ócrico carbonatado.

Esta clasificación se corresponde con los suelos de la zona occidental y central del país.

Esta clasificación obtenida es característica de perfiles con presencia de carbonatos como es el caso, donde la carbonatación y su lavado influyen en la formación y distribución del humus (Fundora y Cairo, 1995), alcanzando la materia orgánica entre 3-6 % (en suelos erosionados puede ser menor que tres).

En el suelo estudiado los valores de MO se encuentran entre 2-6%, no presentándose deficiencias de materia orgánica en el suelo bajo rotación de cultivo y siendo el testigo con valores de MO menores de 3 el más erosionado.

Propiedades químicas del suelo

Carbonatos

En la Figura 1 se muestra el comportamiento del contenido de carbonatos en el testigo y sistema estudiado, observándose en ambos casos limitante suelo calcáreo (% de carbonatos mayor de 5). Aunque se manifiestan diferencias significativas entre ambos sistemas la causa es completamente natural, producto de las características del material originario, siendo estos valores mayores en el suelo con sistema de rotación de cultivos.

Estos valores encontrados coinciden con lo planteado por Bullón (2009), teniendo en cuenta que estos ambientes, independientemente de su ubicación geográfica, tienen una singularidad geomorfológica, climática y biogeográfica.

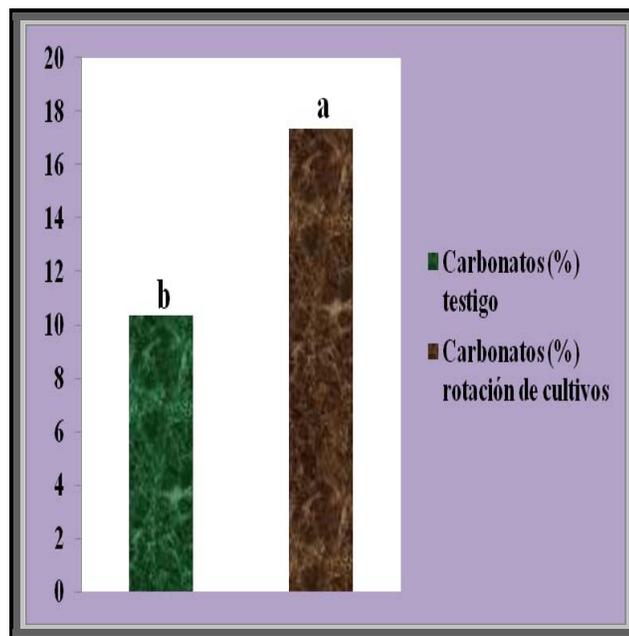


Figura 1: % de Carbonatos en testigo y rotación de cultivos.

pH

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del pH. Los valores en ambos casos son significativamente diferentes y superiores a 7, ya que están condicionados por la composición mineralógica del suelo (presencia de carbonatos, y el grado de saturación por bases del mismo). En el suelo

sometido a rotación de cultivos el pH se incrementa a 8 ó más, lo que se justifica por el alto contenido de carbonatos presentes.

Esto aporta información en diversos ámbitos de la edafología. Uno de la más importante deriva del hecho de que las plantas tan solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua, y la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales.

Determinadas sales minerales que son esenciales para el desarrollo de las plantas, tal como el fosfato de calcio, son menos solubles a un pH alto, lo que tiene como resultado que bajo tales condiciones sean menos disponibles con vistas a ser absorbidos y nutrir las plantas.

La alcalinidad o alcalinidad potencial de algunos suelos pardos sialíticos como es el caso, obedece a factores paleoambientales de base natural, que pueden actuar como factores de predisposición al incremento del pH, tales como alto contenido de CaCO_3 ; así como factores antrópicos que puedan deberse al riego, este elemento coincide con reportes de las ONG cubanas (2003).

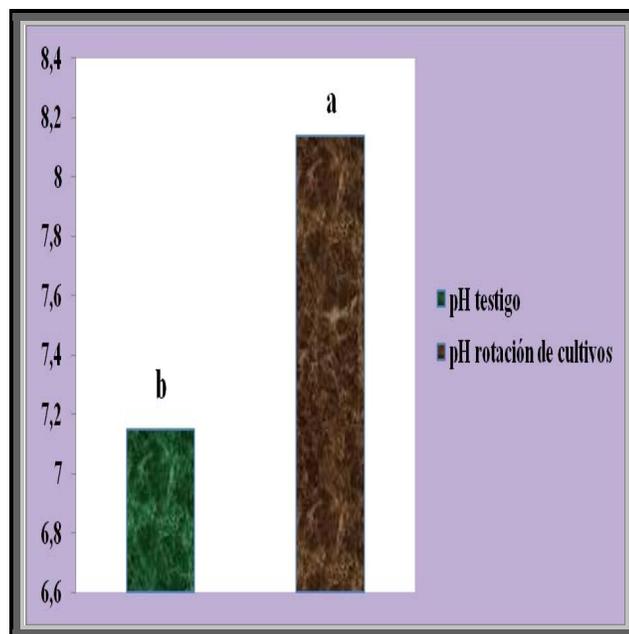


Figura 2: pH en testigo y rotación de cultivos.

El pH es un factor que actúa indirectamente, a través de la posibilidad de supervivencia y predominio de determinados microorganismos y por su influencia en la disponibilidad de determinados nutrientes.

En ambos casos estudiados el medio favorece el desarrollo de bacterias, micobacterias y actinomicetos, los cuales son fundamentales en la formación de humus.

CE

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica, observándose que no se presentan problemas de salinidad. El contenido de sales solubles totales es determinado a partir de los valores de CE, y teniendo en cuenta el sistema de cultivo implantado califica de adecuado aspecto este que coincide con lo encontrado por (Wallis *et al.*, 1992), no se presentan problemas de salinidad aun cuando los valores significativamente mayores de CE se presentan en el sistema de rotación de cultivos.

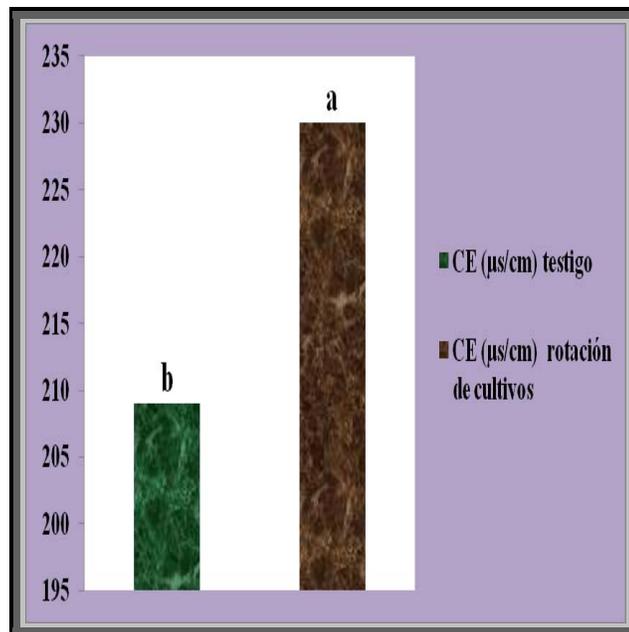


Figura 3: CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en testigo y rotación de cultivos.

Contenido de N y C

En la Figura 4 se observa que el sistema en estudio presenta significativamente menor valor de N que el testigo. Este comportamiento puede estar dado por las extracciones elevadas de nitrógeno por algunos cultivos, fundamentalmente la col. Por las condiciones presentes se puede estar produciendo el proceso de depresión de los nitratos, dado por el alto contenido de C.

El valor de C es significativamente mayor en el sistema estudiado, lo que puede explicarse por la aplicación del efluente de lodo de biogás en concentraciones no controladas.

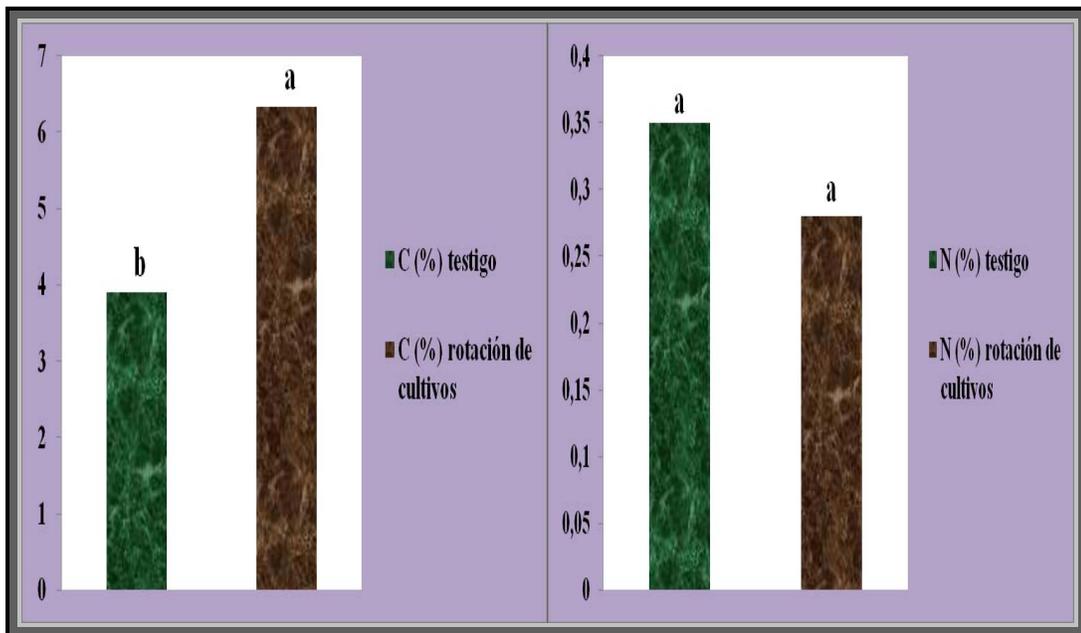


Figura 4: Contenido de N (%) y C (%) en testigo y rotación de cultivos.

Relación C/N

En la Figura 5 se muestran los valores de la relación C/N , donde se observa que es significativamente mayor en el suelo del sistema sometido a rotación de cultivos.

Este valor oscila alrededor de 10:1 en el testigo, lo que refleja una buena actividad biológica y buen ritmo en lo que se refiere al desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y el humus., lo que concuerda con Ortega (1982), que plantea que la relación C/N media de los suelos cubanos en el horizonte A es de 10,5.

En el sistema en estudio, el valor oscila cercano a 25:2. Esto puede comportarse como un factor limitante de la producción de los cultivos ya que cuando se añade abono orgánico al suelo el equilibrio mineralización-inmovilización se rompe porque la materia orgánica es fuente de energía para los microorganismos y su reproducción aumenta. Como la relación C/N de los microorganismos es aproximadamente de 6:1 (baja) y la del abono orgánico es más alta; los microorganismos necesitan N para formar sus cuerpos y si el abono orgánico no la tiene, tomarán nitrato y amonio del suelo, produciéndose inmovilización del N, se establece competencia entre los microorganismos y las plantas cultivadas, aspectos que concuerdan con lo planteado por (Paneque, 2001) que asume que en esas condiciones las plantaciones también sufren afectaciones.

Si la relación C/N es de 17:1 a 33:1, la mineralización del N es igual a la inmovilización (Paneque, 2001).

Gros (1966) expresa que si la relación C/N de los abonos orgánicos es mayor de 25:1, cuando se aplican al suelo debe esperarse el tiempo establecido antes de sembrar ó plantar los cultivos. Si no se espera el tiempo indicado será necesario, aplicar fertilizante nitrogenado suplementario.

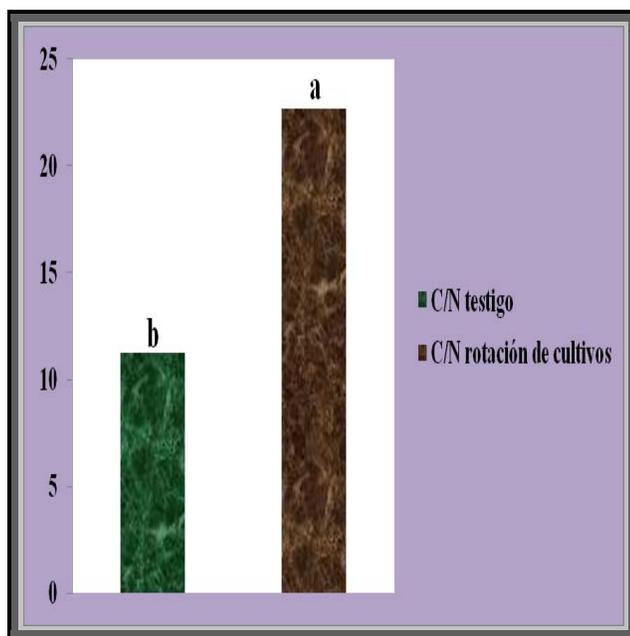


Figura 5: Relación C/N en testigo y rotación de cultivos.

Fósforo disponible

En la Figura 6 se muestran los valores de fósforo disponible, donde se observa que es significativamente menor en el sistema estudiado, lo que puede explicarse por la influencia del pH en la disponibilidad de este elemento, este al ser ligeramente alcalino influye de forma directa, no siendo el único factor.

El sistema estudiado posee un tasa de mineralización muy lenta y las ganancias por esta vía de este elemento son muy inferiores, este aspecto concuerda con lo planteado por (Bernal *et al.*, 2007).

En este estudio se producen pérdidas del fósforo por el arrastre por erosión de las capas superficiales, este proceso se manifiesta en el sistema estudiado y el testigo, ambos con limitante erosión. Estos aspectos coinciden con lo planteado por (Sowden *et al.*, 1976).

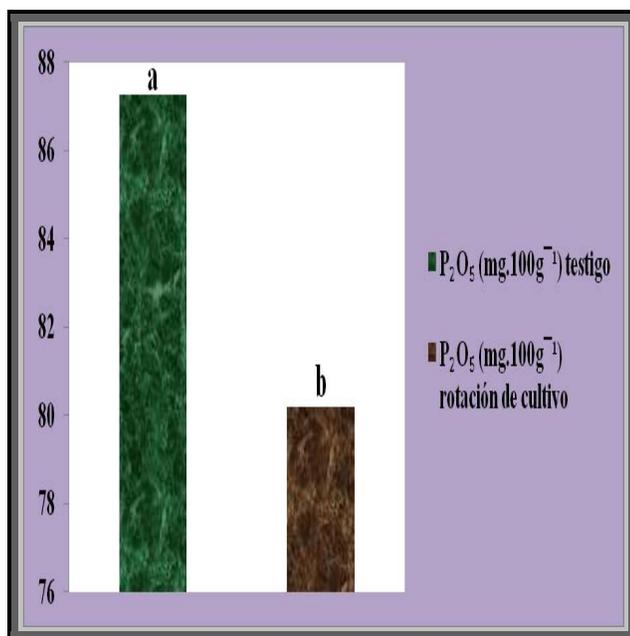


Figura 6: Fósforo disponible (mg.100g) en testigo y rotación de cultivos.

% MO del suelo

En la Figura 7 se muestran los valores de la materia orgánica del suelo. Se observa que la misma es significativamente mayor en el suelo sometido a rotación de cultivos, aspecto que se explica por las cantidades de enmiendas orgánicas que se aplican en esta área (Monnier *et al.*, 1962).

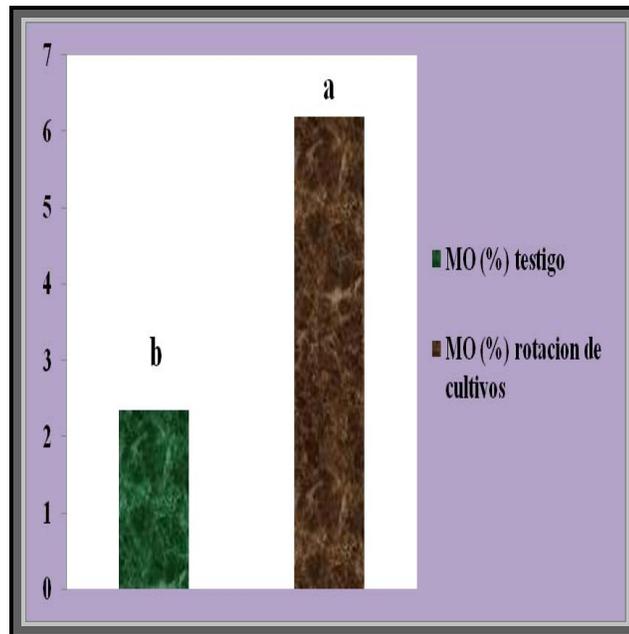


Figura 7: MO (%) en testigo y rotación de cultivos.

Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. Relaciones E4/E6 y AH/AF

En la Figura 8 se muestran los valores de las relaciones E4/E6 y AH/AF. Donde se observan diferencias significativas entre el sistema estudiado y el testigo.

La relación E4/E6 es menor de 5 en el sistema con rotación de cultivos, valor que indica el predominio de los ácidos húmicos. La relación E4/E6 característica para los AF oscila entre 6 y 11,5. En el caso del testigo, los valores son superiores a 6, pero muy cercanos al mismo y en el sistema estudiado no se alcanza este rango, lo que concuerda con Leenheer (1980), que trabajó en situaciones similares.

La relación AH/AF, es significativamente mayor en el suelo sometido a rotación de cultivos, este resultado se corresponde con lo planteado por Ortega (1982) para este tipo de suelo sialítico.

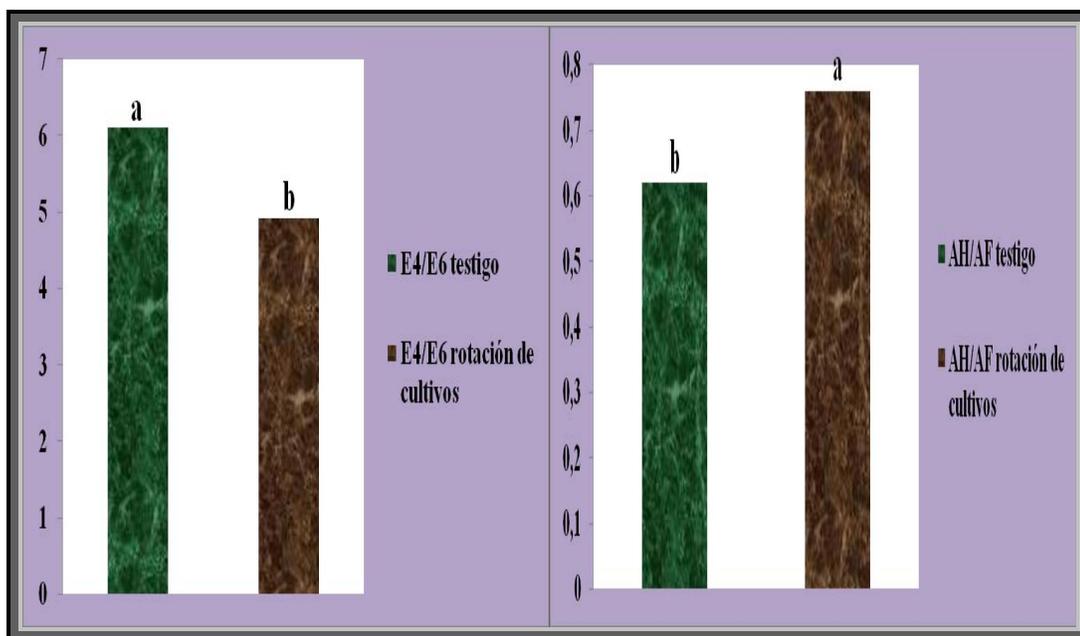


Figura 8: Fraccionamiento de la MO, relación E4/E6 y AH/AF en testigo y rotación de cultivos.

Lípidos del suelo

En la Figura 9 se muestra el contenido de lípidos del suelo, existiendo diferencias significativas. Se observa que el menor valor se presenta en el suelo sometido a rotación de cultivos, aunque el contenido es muy bajo en ambos. Investigaciones realizadas en este sentido se asemejan a los resultados obtenidos en este estudio, donde el bajo contenido de lípidos en el suelo está dado por el pH alcalino que posee, ya que estas condiciones disminuyen la capacidad de los microorganismos para descomponer los lípidos de los residuos vegetales (Stevenson, 1982).

No obstante no es él único factor que influye en su presencia, ellos provienen de descomposición bacteriana y humificación de los restos vegetales, animales y fúngicos, procesos que pueden no ocurrir favorablemente motivados por el pH del medio (Dinel et al., 1990).

El valor aunque es bajo en ambos sistemas, es mucho menor en el sistema de rotación de cultivos, esto puede deberse al efecto del sistema de manejo sobre la biodiversidad edáfica, donde en el testigo son superiores porque la vegetación estable no sólo contribuye al contenido total y naturaleza de lípidos de suelo, sino que favorece determinadas poblaciones de microorganismos (Jambu *et al.*, 1978).

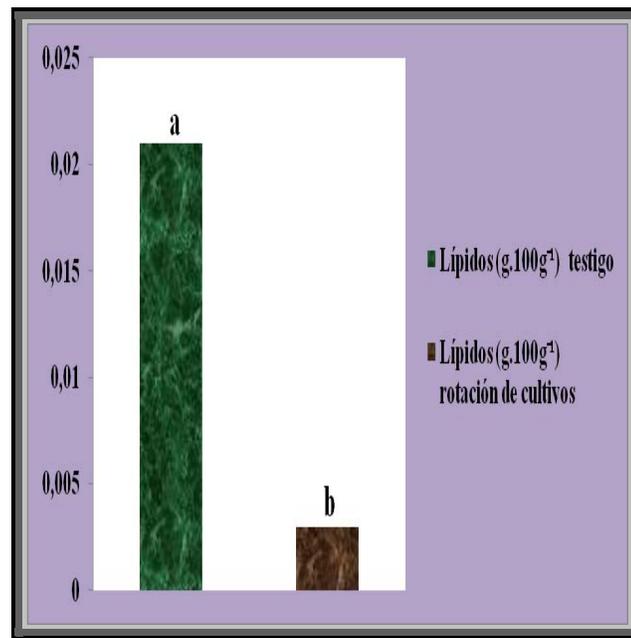


Figura 9: Lípidos (g.100g⁻¹ suelo) en testigo y rotación de cultivos.

Propiedades físicas del suelo

Estabilidad de agregados

En la Figura 10 se observa los valores de la estabilidad de agregados. Donde el mayor valor tanto de la MO sin destruir como destruída se presenta en el sistema de rotación de cultivos. En este sentido el residual de biogás ejerce el papel de un abono orgánico, mejorando las propiedades físicas del suelo, creando una mejor estructura y estabilidad de los agregados del suelo a la destrucción física, constituyendo una forma de empaquetamiento en el que la MO puede quedar asociada a la fracción mineral. Existen diferencias

significativas entre los dos sistemas de estudio al analizar la estabilidad de agregados con la materia orgánica destruida.

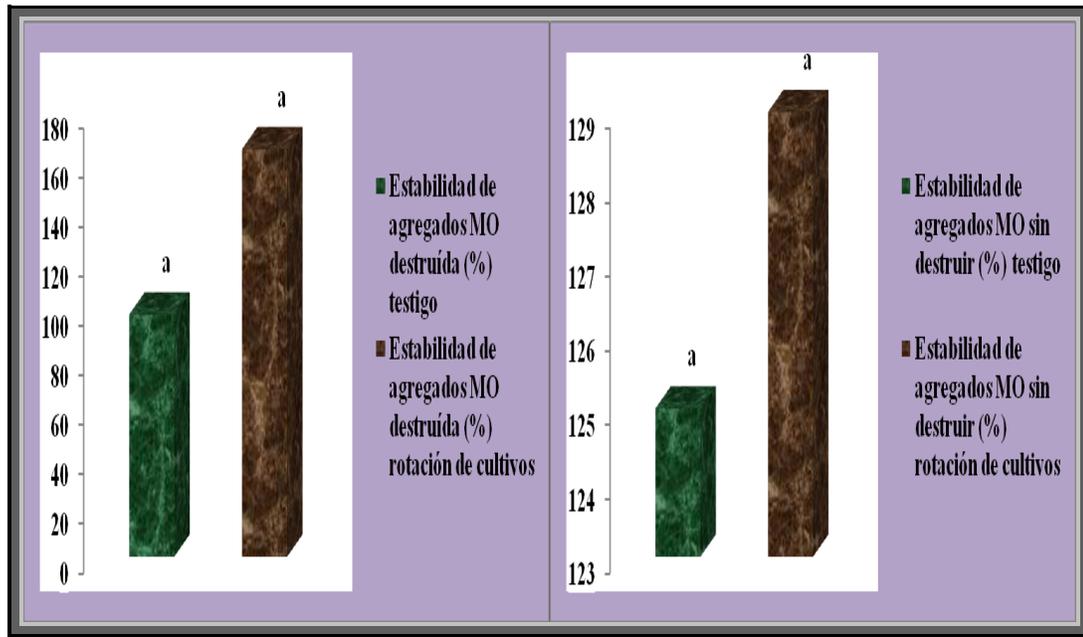


Figura 10: Estabilidad de agregados en testigo y rotación de cultivos.

Densidad aparente

En la Figura 11 se observan los valores de d_a , la cual es baja en ambos sistemas de estudio sin mostrar diferencia significativa. Esta propiedad condiciona junto con el contenido de materia orgánica, una mayor friabilidad en la consistencia del suelo.

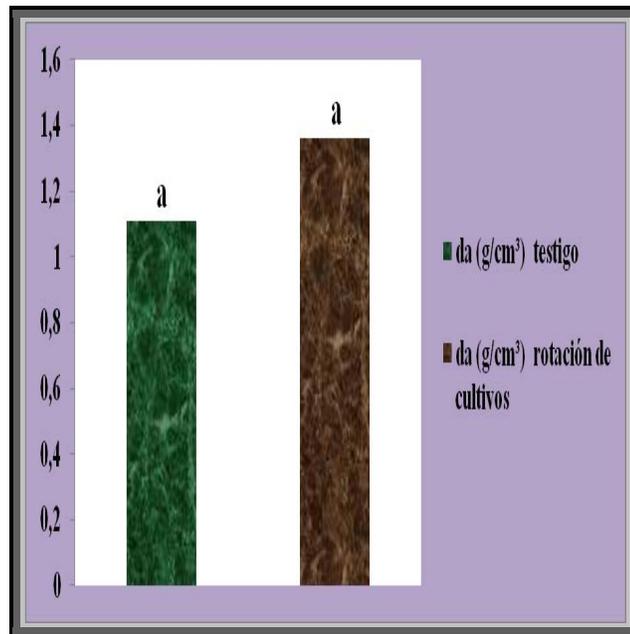


Figura 11: d_a (g/cm^3) en testigo y rotación de cultivos.

Según (Fundora, 1995) en el caso de los suelos arcillosos, se presentan valores más bajos de d_a , con valores de $0,90-1,2 \text{ g}/\text{cm}^3$, según se corresponde con el sistema estudiado que presenta el mismo tipo de suelo, pero comportándose este valor con incrementos mayores de $1,2 \text{ g}/\text{cm}^3$ por incidencia del laboreo.

Densidad real

En la Figura 12 se presentan los valores de D_r . Se observa que el sistema estudiado presenta un valor significativamente menor que el testigo.

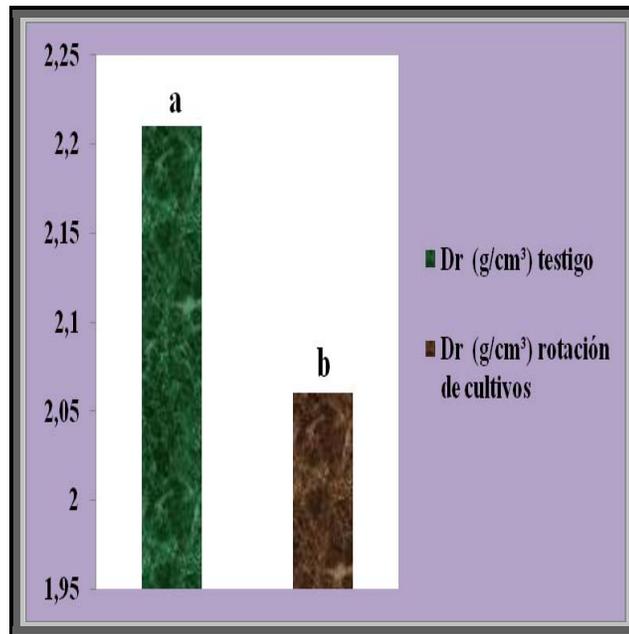


Figura 12: Dr en testigo y rotación de cultivos.

La densidad real del suelo es una expresión del peso de las partículas sólidas que lo componen. La densidad real o peso específico es afectada por dos factores fundamentales: el contenido mineralógico y el contenido de materia orgánica (Guerasimov, 1972).

El mismo autor apunta que en los suelos minerales donde los contenidos de materia orgánica son altos en la capa arable, el peso específico puede alcanzar valores menores de $2,4 \text{ g/cm}^3$, lo que coincide con los resultados obtenidos.

Porosidad total

En la Figura 13 se muestran los valores de Pt donde se observa que no se presentan diferencias significativas aunque el menor valor lo presenta el sistema de rotación de cultivos.

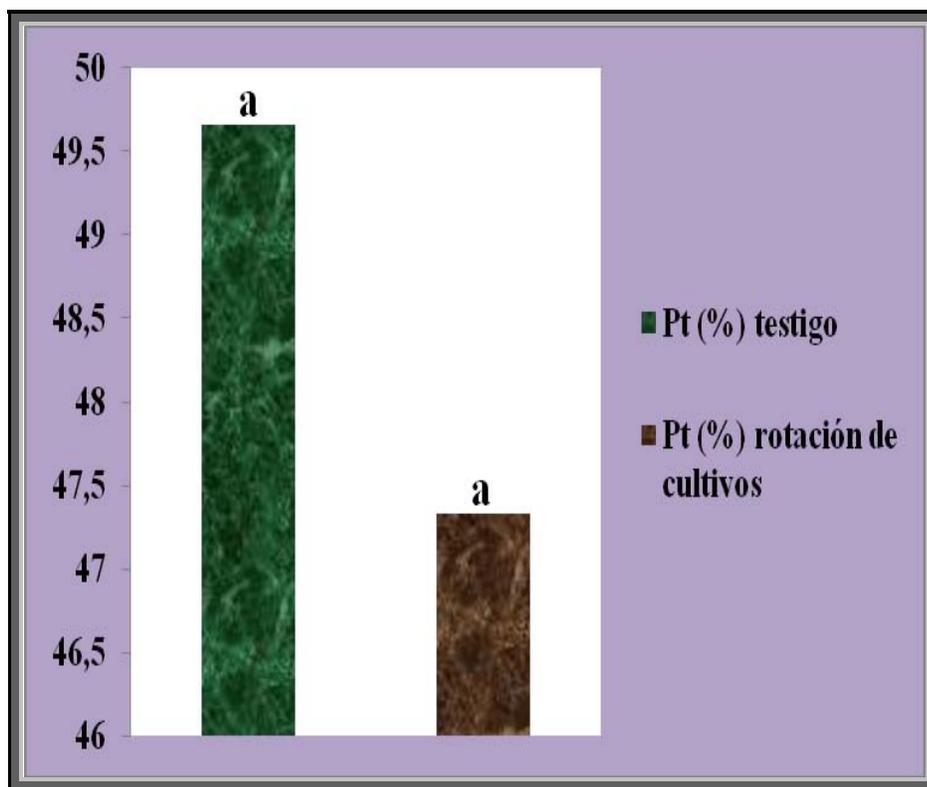


Figura 13: Pt (%) en testigo y rotación de cultivos.

La porosidad se define como un volumen total de espacios o huecos dentro del cuerpo del suelo. Representando la fracción de unidad de volumen del suelo que está ocupado por la materia sólida, que en este caso se encuentra en el testigo y coincide con Guerasimov, 1972.

Al ser la porosidad un resultado de la textura, la estructura y la actividad biológica del suelo se puede decir que estas propiedades mencionadas anteriormente se encuentran de forma mucho más favorable en el testigo.

Las porosidad y la densidad aparente son indicadores indirectamente proporcionales, a medida que aumenta una disminuye la otra (Guerasimov, 1972). Esto se corresponde con los resultados obtenidos.

Propiedades biológicas

Tasa de mineralización

En la Figura 14 se muestran las TM. Se puede apreciar que el valor del sistema en estudio es significativamente menor.

La tasa de mineralización de suelo es una medida de la degradación de la MO del mismo, es decir, del predominio de uno de los dos procesos contrarios que intervienen en el equilibrio del sistema, la mineralización y la inmovilización.

Se observa que el testigo presenta la mayor tasa de mineralización, en el sistema en estudio no sucede lo mismo, ya que predomina el proceso de inmovilización, lo cual concuerda con lo analizado en el aspecto de la relación C/N.

En este caso según Schnitzer (2001), la materia orgánica del suelo, como consecuencia de la actividad biológica (macro y microbiana) que en él se desarrolla, se biodegrada y desaparece, transformándose en CO₂, agua y compuestos minerales (mineralización de la MO). Cuando más intensa es la actividad agrícola y mejor son las condiciones ambientales para el desarrollo de los cultivos, más elevada es la velocidad con la que la materia orgánica se mineraliza y desaparece. En consecuencia, los buenos suelos agrícolas, las buenas prácticas agrícolas y las buenas condiciones ambientales, favorecen la mineralización de la materia orgánica del suelo aumentando sus posibles pérdidas.

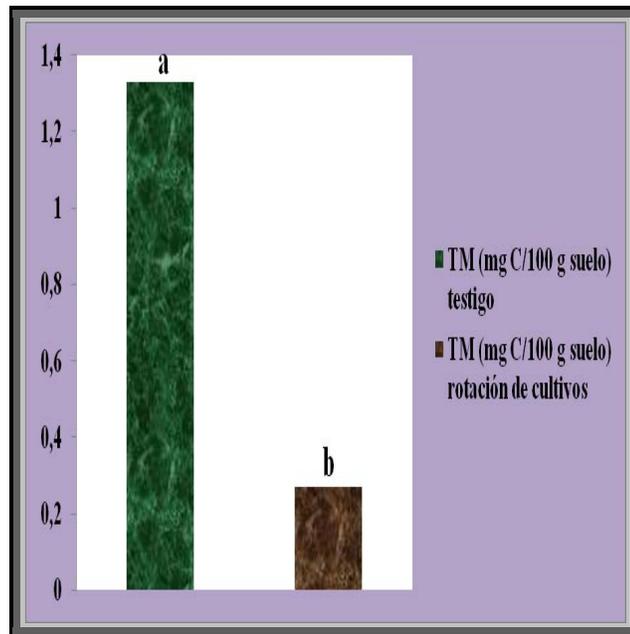


Figura 14: Tasa de mineralización (mg C/100 g suelo) en testigo y rotación de cultivos.

Tasa de respiración

En la Figura 15 se muestran las TR. Se observa que el valor del sistema de rotación de cultivos es significativamente menor, esto puede deberse a una menor actividad microbiana en el sistema estudiado, partiendo de que la tasa de respiración de suelo es una medida del contenido de C del mismo y por tanto de la magnitud de la flora microbiana, lo que se corresponde con lo analizado anteriormente según (Savage *et al.*, 1972).

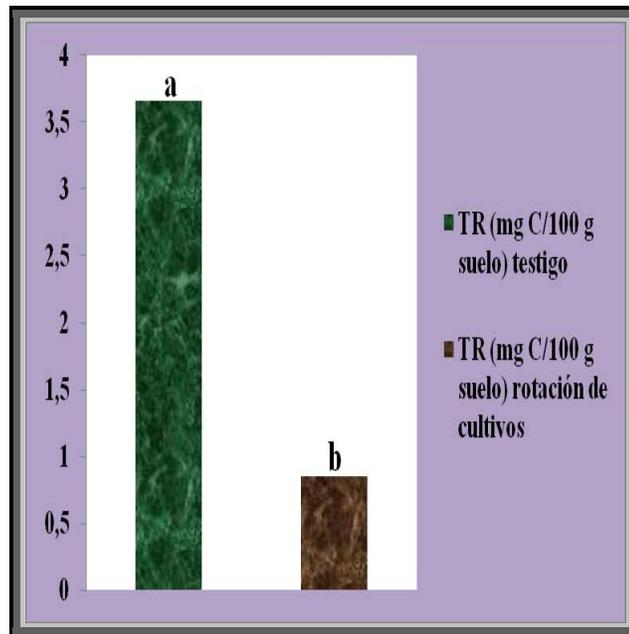


Figura 15: Tasa de respiración (mg C/100 g suelo) en testigo y rotación de cultivos.

Macrofauna edáfica

En la Figura 16 se muestra el comportamiento de los grupos funcionales de la macrofauna .

Se observa que en el sistema estudiado existe una menor densidad de individuos. Sobre este aspecto Barraquita (2000), Villalobos *et al.*, (2000) y Villavicencio *et al.*, (2004) afirman que transformaciones en las condiciones ambientales del suelo originadas por la actividad agrícola y la consecuente destrucción mecánica de los microhabitats, tienen una repercusión negativa sobre la fauna edáfica.

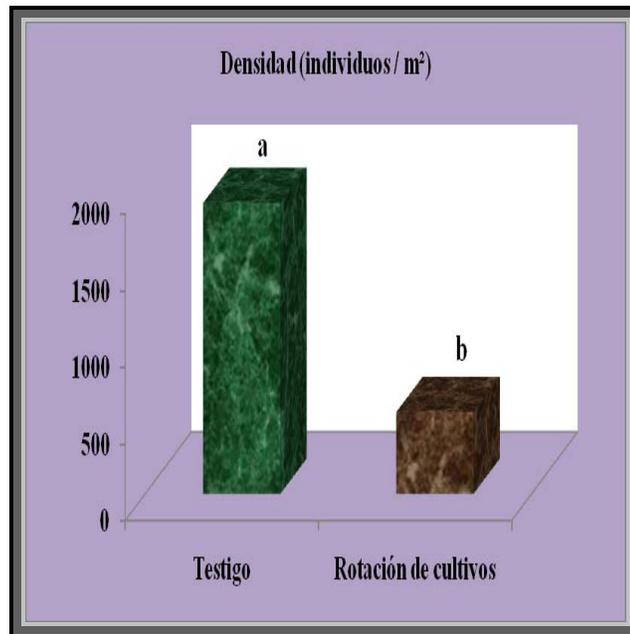


Figura 16: Densidad (individuos/m²) de la macrofauna edáfica en testigo y rotación de cultivos (Ver anexo 8).

En la figura 17 se muestra el comportamiento de la abundancia proporcional de los grupos funcionales. Esta mayor abundancia se presenta en ambos sistemas estudiados en los grupos funcionales herbívoros y depredadores. El primer grupo afecta la cantidad y calidad de los recursos que ingresan al suelo y por tanto a los individuos detritívoros y depredadores, lo que explica la menor abundancia manifestada en los detritívoros. En el caso de los depredadores están los integrantes del orden Aranae que pueden representar la mitad de un agroecosistema y son tan eficientes que los cambios en densidad afectan a las poblaciones de organismos considerados plagas (Wardle y Bardett, 2004).

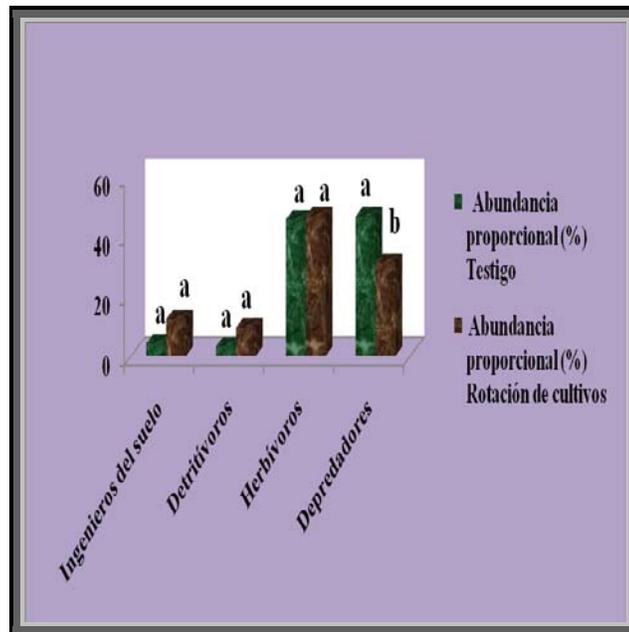


Figura 17: Abundancia proporcional (%) de grupos funcionales de la macrofauna para testigo y rotación de cultivos.

Lee (1985) encontró que los sistemas de cultivos intensivos alojaban menores poblaciones de depredadores, esto podría estar dado por perturbaciones en el área y otros aspectos relacionados con indicadores químicos y físicos, donde su comportamiento siempre expresa el estado biológico del suelo (Zerbino *et al.*, 2008) Ver anexo 8.

Un estudio de los grupos funcionales en el sistema de rotación de cultivos al analizar su abundancia proporcional demuestra que entre los ingenieros del suelo y detritívoros no se manifiestan diferencias significativas, al igual que entre herbívoros y depredadores, sin embargo se presentan diferencias significativas entre los dos primeros y los dos últimos en ambos sistemas estudiados.

Por otra parte aparece mayor abundancia proporcional en los grupos funcionales de herbívoros y depredadores, lo que se puede explicar porque los primeros colonizadores de la macrofauna edáfica son aquellos capaces de explotar el contenido de MO en sistemas con aporte continuo y abundante de la misma, seguido por depredadores que se alimentan de los grupos

favorecidos (omnívoros y herbívoros, aspecto que coincide con Granados y Barrera (2007).

La variación de la composición funcional de la macrofauna en los distintos usos de la tierra, puede ser atribuida a los cambios en las propiedades del suelo y a la cantidad y calidad de los residuos (Pontegnie *et al.*, 2005). Estas propiedades físicas y químicas afectan a la fauna que habita al suelo de manera directa por el contenido de materia orgánica, humedad, pH, estructura, aireación y de forma indirecta a través del efecto sobre la vegetación (Dubs *et al.*, 2004).

EVALUACIÓN ECONÓMICA

El análisis cualitativo del aporte económico de esta investigación arroja que el beneficio económico está influenciado fundamentalmente por los costos ambientales, los gastos del sistema y los ingresos que se producen, en la medida que el estudio implica a la entidad la disminución de los costos por el ahorro de algunos recursos que se están utilizando en exceso y el incremento de la ganancia por los resultados productivos posibles a obtener de establecer un sistema que tenga en cuenta los elementos evaluados, de forma que se rectifiquen los errores cometidos hasta el momento y se logre un adecuado manejo y conservación de los suelos y preservación del medio ambiente.

Se evidencia un impacto en el sistema de rotación de cultivos, por lo que se analiza el efecto económico para el mismo de forma cualitativa:

- Se presenta un déficit del contenido de nitrógeno en el suelo, esto implica que la entidad debe tomar la medida de aplicar fertilizantes que aporten este elemento, por lo tanto esta situación exige gastos de fertilizantes, mano de obra y agua.
- Las aplicaciones constantes e indiscriminadas de lodo de biogás representa para la entidad gastos innecesarios de este producto y de otros gastos en su aplicación (sobreexplotación del sistema de riego) y el costo ambiental que implica la aplicación de este efluente en exceso, que trae efectos desfavorables para el suelo.
- La menor densidad de macrofauna posee una incidencia productiva, ya que al tener una menor calidad biológica el suelo pudiera influir en menores rendimientos e ingresos.
- La relación C/N de los microorganismos es aproximadamente de 6:1 ellos necesitan consumir C como fuente de energía y producen CO₂ que se pierde en la atmósfera. Al ser el contenido de N en el abono orgánico bajo la materia orgánica se pierde y la conversión en humus

es baja y entonces la eficiencia de la utilización del abono orgánico es muy baja y no se obtienen los beneficios que el productor espera. Esto, en última instancia, es un problema económico, pues en ese caso el efecto del abono orgánico sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos es limitada y el efecto residual durará muy poco tiempo.

De forma general los resultados del estudio demuestran la influencia económica de los mismos para la entidad, y evidencian la posible disminución de ganancias dado por el incremento de los costos económicos y ambientales (suelo) y la disminución de los ingresos por la posible disminución de los rendimientos.

CONCLUSIONES

1. Al analizar en conjunto los descriptores biogeoquímicos se concluye que existe impacto en el suelo del sistema estudiado.
2. Los indicadores químicos evaluados demuestran un comportamiento desfavorable de la relación C/N del suelo, que está dado por un manejo inadecuado (excesivo) del lodo de biogás, sin tener en cuenta las condiciones específicas del suelo y las exigencias nutricionales de los cultivos, con disminución de la disponibilidad de nitrógeno. A esto se suma el hecho de que no se realiza fertilización complementaria de este elemento a los cultivos en rotación.
3. El análisis de los indicadores físicos indica efecto positivo en la estructura y su estabilidad, influenciado por las aplicaciones de la materia orgánica (lodo de biogás).
4. La actividad biológica del sistema estudiado muestra aspectos desfavorables, dados por la actividad agrícola y las características físico-químicas del suelo.

RECOMENDACIONES

1. Determinar la norma y frecuencia de aplicación de lodo de biogás mas adecuadas con el fin de provocar un menor impacto económico y ambiental en el área de rotación de cultivos.
2. Realizar aplicaciones de cobertura de urea en dosis que complementen el déficit de nitrógeno provocado por el uso del lodo de residual.
3. Extender los resultados de este trabajo a otros productores agroecológicos de la provincia que usen el lodo de biogás como fuente alternativa de nutrientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Almendros, G. 2008 c. Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de la materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono en los suelos. En: Reunión Internacional "Secuestro de Carbono en Suelos y Biomasa" 5-6 Diciembre, 2002. Catelo de Santa Cruz, A Coruña, España.
- Almendros, G.; Dorado, E. 1985. Estudios de ácidos húmicos de tipo P. Distribución de los pigmentos verdes en diferentes fracciones húmicas del suelo. *An. Edafol Agrobiol.* 43, 547-559.
- Almendros, G.; Dorado, J. 2009. Molecular characteristics related to the biodegradability of humic acid preparations. *Eur. Journal Soil Sci* 50, 227–236.
- Almendros, G.; González-Vila, F.; Martín, F. 2001. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: An experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Sci.* 149, 158-168.
- Alonso, C.; Durán, J.; Frómeta, E.; Martín, N.; Gutierrez, C. (1976). *Compendio de Suelos*, 171 pp.
- Altieri, M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74, 19–31.
- Álvarez, C.; Antonio, H.; Gizzi, H.; Pablo, I.; Manetti, A.; Alicia, N.; López, N.; Clemente & Guillermo, A. Studdert. 2011. Caracterización de la meso y macrofauna edáfica en sistemas de cultivo del Sudeste Bonaerense. *Asociación Argentina de la Ciencia del suelo.*
- Álvarez, J. 2002. Caracterização e manejo dos principais factores edáficos limitantes da agroproductividade dos solos. Universidad de Matanzas, Cuba. Octubre. Disponible en: www.bibliociencias.cu/ Consultado: 7/Novembro/2011.
- Alvarez, M.; García, M.; Treto, E. 1995. Los abonos verdes una alternativa natural y económica para la agricultura. Revisión bibliográfica. *Cultivos Tropicales.* INCA.16(3): 9-24.

- Anderson, J.; Ingram, J. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. CAB International, UK, 221 pp.
- Anon, 2006. Sector Agropecuario tiene Oportunidad Histórica. Centro Regional de Investigación Remehue. Informativo Electrónico INIA, Región de los Lagos, No. 3, julio. Chile.
- Anon, 2011. Distribución de los suelos de Cuba. Enciclopedia colaborativa cubana Consultado en "[http://www.ecured.cu/index.php/Distribuci%C3%B3n de los suelos en Cuba](http://www.ecured.cu/index.php/Distribuci%C3%B3n_de_los_suelos_en_Cuba) Categoría: Naturaleza". Miércoles, 11 de mayo a 7:16 PM.
- Austin, A.; Vivanco, L. 2006. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature* 442:555-558.
- Barraqueta, P. 2000. La fauna del suelo: entre la repoblación forestal.
- Bello, A.; Arias, M.; López-Pérez, J.; García-Álvarez, A.; Fresno, J.; Escuer, M.; Arcos, S.C.; Lacasa, A.; Sanz, R.; Gómez, P.; Díez-Rojo, M.A; Piedra Buena, A.; Gotilla, C.; De La Horra, J. L.; Martínez, C. 2008. Biofumigation, fallow, and nematode management in vineyard replant. *Nematropica* 34, 53–60.
- Bello, A.; Díez-Rojo, M.A; Hernández, Z.; Paniagua, A. 2006. Del productivismo a la agricultura ecológica. Una propuesta de cambio rural. *Fertilidad de la Tierra* 24, 18–20.
- Bernal, S.; Sabater, F.; Butturinic, A.; Ninb, E.; Sabater, S. 2007. Factors limiting denitrification in a Mediterranean riparian forest. *Soil Biology and Biochemistry* 39:2685-2688. Bogotá, DC. *Universitas Scientiarum, Revista de la Facultad de Ciencias*.
- Blakemore, L.C.; Searle, P.L.; Daly, B.K. 1987. Methods for chemical analysis of soil. NZ Soil Bureau Cientific Report 80, 103 pp.
- Borror, D.; y DeLong, D. 1976. *An introduction to the study of Insects*, New York, 852 pp.

- Bower, C.A.; Wilcox, L.V. 1965. Chemical and Microbiological Properties. En: CA Black (ed.) Method of Soil Analysis Part 2. American Society of Agronomy, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA. 933–951 pp.
- Braulio, M. A.; Sandoval, E.A y Silva, M. (2007). Tratamientos de aguas residuales. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztalapa.
- Brinkhurst, R. O.; y Jamieson, B. 1972. *Aquatic Oligochaeta of the World* (Oliver y Boyd, eds.), Edinburgh, 860 pp.
- Brown, G.; Barois, I.; Lavelle, P. 2000b. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.* 36: 177-198.
- Brusca, R.; y Brusca, G. 2003. *Invertebrates*. 2da Edición. 966 pp.
- Bullón, T. 2004. Teledetección aplicada al estudio de los recursos naturales en un medio kárstico In Medio Ambiente, recursos y riesgos naturales. Departamento de Geografía. Universidad de Murcia. Vol. II. p. 13.
- Cabrera, M. 2000.: *Enfoque agrofísico para la evaluación del mejoramiento de los suelos (en el ejemplo de los vertisoles)*, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas),. CICT, Universidad de Ciego de Ávila.
- Carballo, J. C.; Álvarez, J.; Robledo, A.; Aguilar, G.; Daniela P.; Ramírez, J. Alfonso. 2003. Acercamiento a criterios arquitectónicos ambientales para comunidades aisladas en áreas naturales protegidas de Chiapas”. P 2-4.
- Carmona, D.; Manetti, P.; Vincini, A.; López, A.; Álvarez, H.A.; Sorensem, M. 2004. Abundancia, riqueza y dominancia específica de Carábidos (Insecta: Coleoptera) en agroecosistemas bajo siembra directa y manejo convencional. En: II Reunión Binacional de Ecología. XXI Reunión Argentina de Ecología. Mendoza, p 98.
- Carmona, D.; Vincini, AM.; Manetti, P.L.; López, A.N.; Álvarez, H.A. 2002. Densidad activa estacional de insectos plaga y predadores edáficos en agroecosistemas con siembra directa y agricultura convencional. En: V Congreso Argentino de

- Entomología. Buenos Aires. Museo Argentino de Ciencias Naturales «Bernardino Rivadavia». 18-22, p 245.
- Cerana, J.A.; Wilson, M.G.; De Battista, J.J.; Noir, J. y Quintero, C. 2006. Estabilidad estructural de los Vertisoles en un sistema arrocero regado con agua subterránea. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA*. 35 (1): 87-106.
- Chen, Y.; Senesi, N.; Schnitzer, M. 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 352-358.
- Cicchino, A.C. 2003. Características e importancia de la carabidofauna edáfica de un cultivo experimental de trigo y sus bordes con vegetación espontánea en el partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. *Revista Ciencia y Tecnología. Serie Científica*: 41-53.
- Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología. Determinaciones analíticas en suelos. 1973. Normalización de métodos. *An. Edafol. Agrobiol.*, 32, 1153-1172.
- Comisión Nacional de Energía. 1992. Biomasa. Energía (2). La Habana, Cuba. 45 p. (Reseña).
- Compton, J.E.; Bone, R. 2008. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 34: 933-943.
- Copley, J. 2008: Ecology goes underground. *Nature*, Vol. 6:452-454.
- Cruz, E.; Martínez, V.; Naranjo, R. y Sosa, R. 2004. Evaluación microbiológica del efluente anaerobio de un biodigestor de cúpula fija. Vol.: 11 No. 2, 1.p 15-14.
- Cuesta, M.E. 1998. Características de la normalización y certificación de los productos orgánicos en el Ecuador. Universidad Autónoma de Manabí. Ecuador. 85p.
- Dinel, H.; Schnitzer, M.; Mehuys, G.R. 1990. Soil lipids: origin, nature, content, decomposition and effect on soil physical properties. En: Bollag, J.-M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*. Ed. Marcel Dekker, New York, 397–429 pp.

- Doran J.W. and Parkin, T. 2007. Defining and assessing soil quality. *Soil Science Society of America* 677: 3-21.
- Dubs, F.; Lavelle, P.; Brennan, A; Eggleton, P.; Haimi, J.; Ivits, E; Jones, D.; Keating, A.; Moreno, A.G.; Scheidegger, C.; Sousa, P.; Szel, G.; Watt, A. 2004. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. In International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. (14., 2004, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. p. 252.
- Durán, J., Abad, Y. 2007. Degradación, recuperación, uso y manejo ecológico de los suelos tropicales.pp.68.
- Durán, J.; 2007. Ensayo. Degradación, recuperación, uso y manejo ecológico de los suelos tropicales.Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, 68 pp. Edición especial II, 12: 73-84.
- Fancelli, A.L. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. PP. 11-27.*En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina.207pp.*
- FAO – Unesco.1998. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos (Resumen de la Leyenda Revisada del Mapa Mundial de Suelos a escala 1: 5000 000). Versión en Español preparada por Caballas y col. Santiago de Compostela, 59 pp.
- Flores, A.; Gálvez, V.; Hernández, O. y Orellana, R. 1996. *Salinidad: Un nuevo concepto*, 132 pp., Ed. de la Universidad de Colima.
- Freyre, R. E. 1997 Bioética y Desarrollo Sostenible. Agroecología y Agricultura Sostenible. Modulo III. CLADES-CEAS-ISCAH. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Primera Edición. 40p.
- Fundora, O y Cairo, P. 1995. Edafología. Cuba.
- Gallardo, J.F. 2008. Biogeochemistry of Mediterranean forest ecosystems: A case study. In: J.M. Bollag y G. Stotzky (eds). *Soil Biochemistry*: 423-460. Marcel Dekker, nueva York.

- Gómez Sal, A. 2007. Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En: Labrador, J. y Altieri, M.A. (eds.), Agroecología y Desarrollo, Mundi Prensa, pp 83–119.
- Granados, A y J. I. Barrera. 2007. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la cantera Soratama.
- Guerasimov, S.1972. Esquema de clasificación genética de Cuba., 45 pp.
- Gutián, F.; Carballas, T. 1976. *Técnicas de Análisis de Suelos*. Editorial Pico Sacro: Santiago de Compostela.
- Hadas, A.; Bar-Yosef, B.; Davidov, S. y Sofer, M. 1983: Soil Sci. Soc. Of, Am. J. 47.:1129.
- Hanegraaf, M.C.; Andre, G. 2007. Trends in organic matter content of soils – absolute and relative changes. En: Chabbi, A. (Ed.): International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems. Poitiers, France. July 16 –19, 2007.
- Henin, S.; Gras, R.; Monnier, G. 1969. Le profil cultural. L'Etat physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson et CIE, Eds, París, 311 pp.
- Hernández, A. y Morell, F. 2007. Función ecológica de los suelos y su transformación de los ecosistemas a agrosistemas: Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. Conferencia. En. INCA,La Habana.
- Hernández, A.; Morales, M.; Ascanio, M.; Morell, F. 2006. Manual para la aplicación de la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Libro en CD-ROM.
- Hernández, C. 2005. Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. La Habana. 132 p.
- Hernández, Z. 2009 .Estudio funcional de la materia orgánica del suelo en agroecosistemas vitícolas de la Isla de Tenerife, Canarias, España. P.417.
- IFOAM. 1998. Normas Básicas para la Agricultura Ecológica y el Procesamiento de Alimentos. Argentina.
- Jambu, P. ; Fustec, E. ; Jacquesy, R. 1978. Les lipids des sols: nature, origine, evolution et propriétés. Science du Sol 4, 229–240.

- Jastrow, J.D. ; Amonette, J.E. ; Bailey, V.L. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change*, 80, 5–23.
- Jeavons, J. 1991. *Cultivo Biointensivo de Alimentos*, México.: 204.
- Jones, C.G.; Lawton, J.H y Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- Kirkham, M. B. 1982. *Advances in Agronomy*. 35.: 129.
- Kononova, M. M. 1982. *Materia Orgánica del Suelo. Su Naturaleza, Propiedades y Métodos de Investigación*. Oikos-Tau ediciones: Barcelona.
- Kremen, A.; Greene, C and Hanson, J. 2004. *Organic produce, price premiums, and eco-labeling in U.S. farmers´ markets*. Economic Research Service,USDA, VGS-301-01, USA, 12p.
- Labrador, J. 2002. Aproximación a las bases técnicas de la agricultura ecológica. En: J. Labrador, J.L. Porcuna, A. Bello (Eds), *Manual de agricultura y ganadería ecológica*. SEAE–EUMEDIA-MundiPrensa, Colección Vida Rural, 17–36.
- Lal, R. 2006. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1–22.
- Larson, W and Pierce, F. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Soil Science Society of America* 677: 37-51.
- Lavelle, P. 1997. Faunal Activities and Soil Processes: Adaptative Strategies That Determine Ecosystem Function. *Adv. Ecological Res.* 27: 93-132.
- Lavelle, P.; Senapati, B y Barros, E. 2003. Soil Macrofauna. En: G. Schroth & F.L.Sinclair (eds.). *Trees, Crops and Soil Fertility. Concepts and Research Methods*. CABF Publishing.UK. p. 303-323.
- Lee, K.E. 1985. *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soil and Land Use*, Academic Press, New York, 411 pp.
- Lee, Y. S. y Bartlett, R. J. 1976: Stimulation of plant growth by humic substances. *Soil Sci. Am. J.* 40.: 876-879.

- Leenheer, J. A. 1980. Origen and nature of humic substances in the waters of the Amazon River Basin. *Acta Amazónica*. 10, 513-526.
- Linden, DR.; Hendrix, P.F.; Coleman, D.C y van Vliet, P.C. 1994. Faunal indicators of soil quality. Pp 91-106. In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Special Publication N° 35. *Soil Sci. Soc. Am., Inc.; Am. Soc. Agron., Inc.* Madison, Wisconsin, USA.
- López, A. P .1999. Taller sobre biodigestores. Costa Rica. Fondo para el Medio Ambiente Mundial. P 53.
- Manlay, R.J.; Feller, C. and Swift, M.J. 2007: "Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 , pp. 217–233.
- Marasas, ME.; Sarandon, S.J & Cicchino, A.C. 2001. Changes in soil arthropod functional group in a wheat crop under conventional and no tillage systems in Argentina. *Applied Soil Ecology* 18: 61-68.
- Martín, N. 2006. *Disciplina Ciencias del Suelo, Tomo I: Pedología*, Coordinador: Dr Nelson J. Martín Alonso, San José de Las Lajas. Provincia La Habana, 2006, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". México. *Acta Zoologica Mexicana* 80:167-183.
- Mayea, S. 1993: Instructivo para la elaboración de compost (Biotierra) a partir de desechos de la agricultura mediante el uso de inóculos microbianos. 14.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente), 2006. Perfil Ambiental de España. Informe basado en indicadores. Subdirección General de Calidad del aire y Prevención de riesgos, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Monnier, G.; Turc, L.; Jeanson-Luusinang, C. 1962. Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Ann. Agron.*, 13, 55-63.

- Montero, R.; Ortega, R y Aguilar, A. 1978. Estudio del contenido de carbono y nitrógeno en algunos abonos orgánicos y su efecto en la mineralización e inmovilización del nitrógeno. *Revista Chapingo*. 13- 14: 57-67.
- Morgan, R.P. 2008. *Soil Erosion and Conservation*, Blackwell Publishing, USA. 304 pp.
- Munsell Color. 1975. *Directions for the use of the Charts in the Munsell Book of Color*. Munsell Color Co. Inc. Baltimore, USA, 1-8.
- Narro, F. E. 1994: *Física de Suelos con enfoque agrícola*, 195pp., Ed. Trillas, México, DF.
- Oldeman, I.R.; Van Egelen, V.W and Pulles, J.R. 2002: The extent of human induced soil degradation. ISRIC, Wageningen, The Netherlands.
- Oliva, D.; Velasco, L.; Ventura, E.; Ballinas, M.; Salvador, D y Gutiérrez. F. 2006. Estudios de eliminación de microorganismos patógenos de residuales porcinos en un biorreactor con tiempo de retención corto. *Revista de Producción Porcina* Vol: 11 No. 1. p 12-13.
- Omary, A. La degradación de los Ecosistemas. [en línea] febrero 2005. Disponible en WWW.unip.org/OurPlanet/imguersn/171/spanish/Arwa%20mary.pdf. [Consulta marzo, 11, 2008].
- ONG Cubanas.2003: Sexto Período de Sesiones de la Conferencia de las Partes de la Convención de Lucha contra la Desertificación. Palacio de Las Convenciones. La Habana: 38 pp.
- Ortega, F.1982. La Material Orgánica de los Suelos y el Humus de los Suelos de Cuba. Editorial Academia. Pp. 68-120.
- Paneque, V. 2001. "Abonos orgánicos". Conceptos prácticos para su aplicación y evaluación. San José de Las Lajas. La Habana, 41 pp. Parque Nacional Tingo María, Huánuco, Perú.
- Peña, J. 1998. Agricultura Urbana. Su desarrollo y principales componentes. Compendio sobre Agricultura Urbana. Modalidad: Organopónicos y huertos intensivos. INIFAT-UNICA. Ciego de Avila. Cuba.: 2-8.

- Perez-Azzo. 1998. Revisión y Nuevas especies del género *Spirobolellus* (Diplopoda: Spirobolellidae) en la Isla de Cuba. *Caribbean Journal of Science*, 34 (1-2): 67-83.
- Piper, C.S. 1950. Soil and plant analysis. The Hasell Press, Adelaide, Australia.
- Porta Casanellas J., M. López-Acevedo y R. De Laburu, C. 1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Mundi-Prensa. 807 pp.
- Pontégnie, M.; Warnaffe, G.; Lebrun, P. 2005. Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community. *Pedobiología* 45: 199-210.
- RAFI-USA. 2002. The Organic Forum: A Big Picture Assessment. Summary of discussions held in Girona, Spain, June 29-30, 2002, with participation from IOAS Accreditation Committee and viewpoints of several countries. Available from RAFI-USA, Pittsboro, NC: www.rafiusa.org.
- Ruíz, L. N. 2004. Estrategia Agroecológica para el Manejo y Protección de los Suelos de la Unidad Básica de Producción Cañera “Rubén Martínez Villena”. Tesis para optar por el Título Máster en Agroecología y Agricultura Sostenible Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.
- Sardans, J.; Peñuelas, J.; Prieto, P.; Estiarte, M. 2008. Drought and warming induced changes in P and K concentration and accumulation in plant biomass and soil in a Mediterranean shrubland. *Plant and Soil* 306:261-271.
- Sardans, J.; Rodà, F.; Peñuelas, J. 2007. Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils. *Plant Ecology* 174:307-319.
- Schimel, J.P. y Bennett, J. 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing.
- Savage, S. M.; Osborn, J.; Letey, J.; Heaton, C. 1972. Substances contributing to fire-induced water repellency in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36, 674-678.
- Schnitzer, M. 2001. Soil organic matter - The next 75 years. *Soil Sci.*, 151, 41-58.
- Schulten, H.-R.; Schnitzer, M. 1998. The chemistry of soil nitrogen: a review. *Biol. Fertil. Soils*, 26, 1-15.
- SOEL. 2003. (The Foundation of Ecology and Agriculture). *Organic Agriculture Worldwide*.

- Soil Survey Staff.1994. Keys to Soil Taxonomy. USDA, Department of Agriculture, 305p.
- Soria, F. (2000).Sustentabilidad de los sistemas de producción orgánica. En: Revista de la Facultad de Agronomía.. Argentina, 20(3): 317- 320 pp.
- Sowden, F.J.; Griffith, S.M.; Schnitzer, M. 1976. The distribution of nitrogen in some highly organic tropical volcanic soils. *Soil Biol. Biochem.* 8, 55–60.
- Stevenson, F.J. 1982. Biochemistry of the formation of humic substances. En: F.J. Stevenson (Ed.) *Humus Chemistry*, pp. 195–220.
- Suárez, J. J.; Monzote, D.; Serrano, F.; Funes, C. 2002. Producción orgánica en un sistema agroecológico. Cuatro años de Trabajo. Inst. de Inv. de Pastos y Forrajes. XIII Congreso del INCA. Libro de resúmenes.
- Swift, M.J.; Anderson, J.M. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agroecosystems. En: Schultze, E., Mooney, H.A. (Eds.), *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer, New York, pp. 57–83. tala. *Ekos, Asesoría e Investigación medioambiental*: 257-261.
- Torres Quevedo, M. 2007. Informe nacional de España: El inventario nacional de erosión de suelos 2002-2012. 24ª Reunión del Grupo de Trabajo sobre Ordenación de Cuencas Hidrográficas de Montaña de la Comisión Forestal Europea. Cracovia (Polonia).
- Traina, S. J.; Novak, J.; Smeck, N. E. 2002. An ultraviolet absorbance method of estimating the percent aromatic carbon content of humic acids. *J. Environ. Qual.*, 19, 151-153.
- Turienzo, P.; Carmona, D.; Studdert, G.; Vincini, A.M.; López, A.N.; Manetti, P,L.; Álvarez. C. 2001. La siembra directa en el manejo sustentable de los suelos: conservando los carábidos en agroecosistemas. En: I Reunión Binacional de Ecología. XX Reunión Argentina de Ecología: Argentina- Chile. San Carlos de Bariloche. p 232.
- UNCCD. (United Nation Convection to combat desertification) (Ed.) [en línea febrero 2007] Consulta on line: <http://www.unccd.int/knowledge/menu.php>. Consulta abril, 12, 2011.

- Urbano, P. y Moro, R. 1992. Sistemas agrícolas con rotaciones y alternativas de cultivo. Mundi-prensa. Madrid.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1971. Guide of interpreting uses of soils. Soil Conservation Service, USDA.
- Van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society America Proceedings* 14, 20–23.
- Vandermeer, J.; Perfecto, I. 1995. Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destruction. Food First Books, Oakland, 185 pp.
- Vares, T.; Hattaka, A.; Dorado, J.; Almendros, G.; Bocchini, P.; Galletti, G.; Martínez, A.T. 2001. Microhandsheet evaluation and chemical analysis of wheat-straw pulp treated with enzyme-mediator systems. En: *Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*. Vol A. (Proc. 7th International Conference. Vancouver, BC, Canada). CANCOPY (Canadian Reprography Collective) Toronto, 149–152 pp.
- Vega, S.; Sust, G. 2002. Estudio de agroproductividad de los suelos de la provincia de Matanzas, teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente. Ministerio de Agricultura. Dpto de Suelos y Fertilizantes, Matanzas, 1-8 pp.
- Velthorst, E., Nakken-Brameijer, N., Mulder, J. 2001. Fractionation of soil organic matter. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 73, 237–251.
- Villalobos, F.J.; Pulido, R.; Moreno, C.; Pavón, N.; Hernández, P.; Trejo, J.; Bello y Montiel, S. 2000. Patrones de la macrofauna edáfica en uncultivo de *Zea maiz* durante la fase postcosecha en la Mancha, Veracruz.
- Villavicencio, D.; Tapia-Coral, S.; Torres, O.; García, G. 2004. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra.
- Voronin, A. D. 1990: «Concepción energética del estado físico de los suelos», *Pochvedenie*, (5): 719.
- Walkley, A y Black, J. 1934. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63.

- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63, 251-264.
- Wallis, M. G.; Horne, D. J. 1992. Soil water repellency. En: *Advances in Soil Science* (Stewart, B. A., ed.). Springer-Verlag: New York, 91-146.
- Wardle, D.A.; Bardgett, R.D. 2004. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. *Ecological Studies* 173: 53:69.
- West, T.O.; Six, J. 2007. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change* 80, 25–41.
- Willer, H and Yussefi, M. 2007. *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2007*. IFOAM, FIBL, SÖL, Germany, 167p.
- Wilson, M.; Cerana, J.; Valenti, R.; Rivarola, S.; Banchemo, C.; Díaz, E. y Benavídez, R. 2001. Evaluación de la calidad del agua de riego y su relación con la condición de suelos arroceros. *Revista Fundación Proarroz. Resultados experimentales*. X: 51-59.
- Yussefi, M and Willer, H. 2003. *The World of Organic Agriculture 2003: Statistics and Future Prospects*. IFOAM publication (5th edition). Available from Soel (www.soel.de; search for World Agriculture Statistics; report may be downloaded) or from IFOAM (www.ifoam.org; hard copy may be purchased).
- Zerbino, S.; Altier, N.; Morón, A y Rodríguez, C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia* 12 (1): 44-55.

Anexos

Anexo 1: Estado degradativo de los suelos de Cuba.

Suelos erosionados	43,3 %
Suelos con baja fertilidad	44,8 %
Suelos con mal drenaje	40,3 %
Suelos con baja retención de humedad	37,3 %
Suelos con bajo contenido de materia orgánica	31,8 %
Suelos con elevada acidez	24,8 %
Suelos compactados	23,9 %
Suelos salinizados	14,9 %

Anexo 2: Principales Factores Limitantes y áreas afectadas de la Provincia de Matanzas.

Factores	(ha)	% del Área
Baja Fertilidad Natural	433,8	57,6
Baja Retención de Humedad	433,8	57,6
Poca Profundidad Efectiva	384,8	52,1
Mal Drenaje	284,7	38,6
Rocosidad	253,9	34,4
Acidez	225,3	30,5
Carbonatos	207,3	28,1
Compactación	129,1	17,1
Plasticidad	89,9	12,2
Pedregosidad	83,8	11,4

Gleysación	68,9	9,4
Alcalinidad	67,9	9,2
Bajo contenido de materia orgánica.	60,5	8,0
Gravillosidad	55,4	7,5
Estructura Deficiente	53,9	7,3
Baja Velocidad de Infiltración	47,6	6,3
Pendiente	45,1	6,1
Erosión	44,8	6,1
Concreciones	20,7	2,8
Presencia de Lateritas	12,6	1,7
Salinidad	5,4	0,7

Anexo 3: Vista del perfil de suelo bajo sistema de pastizales naturales (Testigo).



Anexo 4: Vista del perfil de suelo bajo sistema de rotación de cultivos.



Anexo 5: Indicadores estudiados en los dos sistemas evaluados (Medias de las tres réplicas obtenidas de una muestra compuesta).

Indicadores	Pastos naturales	Rotación de cultivos
pH	7,15	8,14
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	209	230
Carbonatos (%)	10,33	17,33
C Total (%)	3,9	6,33
N Total (%)	0,35	0,28
Relación C/N	11,14	22,60
P_2O_5 ($\text{mg}\cdot 100^{-1}\text{g}$)	87,26	80,2
MO (%)	2,34	6,2
E4/E6	6,1	4,92

AH (g.100⁻¹ g suelo)	0,44	0,51
AF(g.100⁻¹ g suelo)	0,71	0,66
AH/AF	0,62	0,77
Lípidos(g . 100 g ss)	0,021	0,003
Estabilidad MO (%)	98	165
Estabilidad MO sin destruir (%)	125	129
Da (g/cm³)	1,11	1,36
Dr (g/cm³)	2,21	2,06
Pt (%)	49,66	47,33
TM (mg C/ 100 g suelo)	1,33	0,27
TR (mg C/ 100 g suelo)	3,66	0,85

Anexo 6: Parte de la composición taxonómica y funcional de la macrofauna del suelo testigo y rotación de cultivos.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA SUBFAMILIA*	CATEGORÍA ECOLÓGICA	GRUPO FUNCIONAL
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Epígeos	Depredadores
			Scarabaeidae	Epígeos y endógenos	Herbívoros
		Diptera	–	Epígeos	Detritívoros
		Hymenoptera	Formicidae	Anécicos	Depredadores e ingenieros del suelo
			Ponerinae*	Epígeos	Depredadores

					e ingenieros del suelo
		Isoptera	Termidae	Epígeos	ingenieros del suelo
		Lepidoptera	–	Epígeos	Herbívoros
		Hemiptera	–	Epígeos	herbívoros
	Diplopoda	–	–	Epígeos	Detritívoros
	Chilopoda	–	–	Epígeos	Depredadores
	Chelicerata	Aracneae	–	Epígeos	Depredadores
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Glossoscolecidae	Endógenos	Ingenieros del suelo
			Megascolecidae	Endógenos	Ingenieros del suelo
Mollusca	Gastropoda	Archeogastropoda	–	Epígeos	Detritívoros

Anexo 7: Número de individuos por clase en testigo y rotación de cultivos.

PHYLUM	CLASE	NÚMERO DE INDIVIDUOS EN TESTIGO	DE EN ROTACIÓN DE CULTIVOS
Arthropoda	Insecta	651	149
	Diplopoda	21	19
	Chilopoda	15	12
	Chelicerata	4	4
Annelida	Oligochaeta	30	26
Mollusca	Gastropoda	2	1

Anexo 8: Número de individuos por grupos funcionales en testigo y rotación de cultivos.

COMPOSICIÓN FUNCIONAL	INDIVIDUOS EN TESTIGO	INDIVIDUOS EN ROTACIÓN DE CULTIVOS
Ingenieros del suelo	30	26
Detritívoros	23	20
Herbívoros	331	99
Depredadores	339	66
Total	723	211

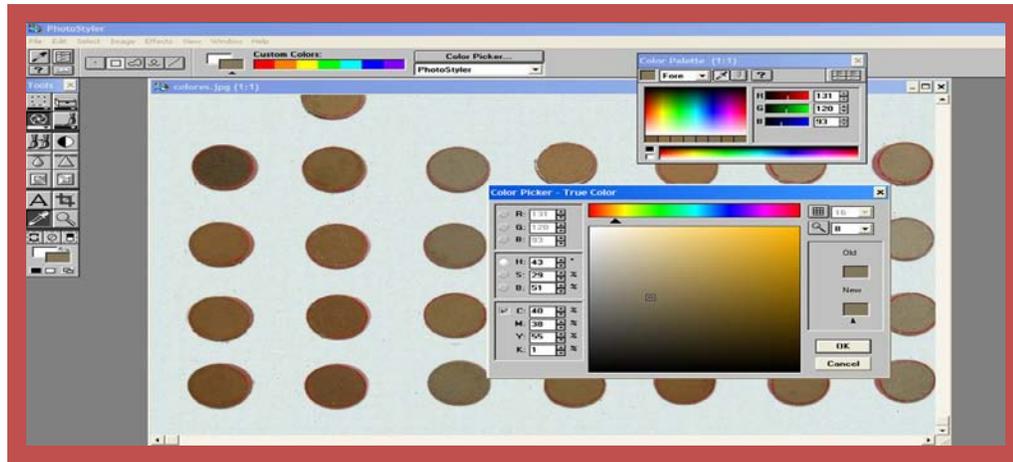
Anexo 9: Valor promedio de la densidad (individuos. m⁻²) en testigo y rotación de cultivos.

Indicador	Testigo	Rotación de cultivos
Densidad promedio (Individuos. m ⁻²)	1894	532

Anexo 10: Abundancia proporcional (%) por grupos funcionales en testigo y rotación de cultivos.

Grupos Funcionales	Abundancia proporcional (%) Testigo	Abundancia proporcional (%) Rotación de cultivos
Ingenieros del suelo	4,15	12,32
Detritívoros	3,18	9,48
Herbívoros	45,78	46,92

Anexo 11: Análisis digital del color del suelo.



Anexo 12: Determinación de carbonatos por el método del calcímetro de Bernard.



Anexo 13: Determinación del carbono total del suelo por el método de oxidación parcial en húmedo.



Anexo 14: Fraccionamiento de la materia orgánica.



Anexo 15: Extracción de lípidos del suelo a temperatura ambiente con Etanol.



Anexo 16: Estabilidad de agregados.



Anexo 17: Tasas de respiración invitro.

