

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



*Secuestro de Carbono y emisiones de gases de efecto
invernadero en tres fincas de la provincia de Villa
Clara.*

*Tesis presentada en opción al Título Académico de
Master en Agricultura Sostenible*

Autor: Ing. José Carlos Gacia Hernández

Tutor: MsC. Víctor Daniel Gil Díaz

*Consultantes: Dr. C. Reinaldo Alemán Pérez
Dr. C. Pedro Cairo Cairo*

Santa Clara, Cuba.

- 2011 -

RESUMEN

La investigación se desarrolló en tres fincas de la provincia de Villa Clara, desde noviembre de 2008 hasta mayo de 2009, en los municipios Cifuentes y Santa Clara. Se estimó el secuestro de Carbono por especies arbóreas así como su relación con algunas propiedades del suelo, además de la emisión de Metano y Óxido Di nitroso provenientes del manejo de los residuos de cosechas y la crianza animal. Los niveles de Carbono retenido en la biomasa arbórea de ocho especies comunes en las tres fincas, se estimaron según la metodología propuesta por Mercadet y Álvarez (2005). Las especies arbóreas que más Carbono retuvieron en su biomasa fueron la Palma Real con valores entre 0.81 y 0.84 t.planta⁻¹ y el Mango entre 0.60 y 0.81 t.planta⁻¹. Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero se valoraron según la metodología del IPCC (2001), resultando que los contenidos globales de Metano fueron inferiores a los de Óxido Di nitroso, incluso en la finca productora de arroz en aniego estudiada. Los suelos presentes en las fincas analizadas fueron de los tipos Pardo Sialítico Mullido Sin Carbonatos, Fluvisol Mullido Carbonatado y Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico según Hernández *et al.* (2006). El contenido de Carbono en los mismos se calculó según la metodología planteada por Alvarado (2009). En la profundidad de 0-20 cm, los contenidos de Carbono de las áreas bajo cultivos de rotación oscilaron entre 45.40 y 51.03 t.ha⁻¹, y bajo plantaciones de Mango entre 67.12 y 95.40 t.ha⁻¹.

ÍNDICE

<u>Contenidos</u>	<u>Pág.</u>
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Reseña bibliográfica	3
2.1. Impacto del Dióxido de Carbono en la agricultura	3
2.2. Sumideros de Carbono y su manejo	4
2.3. Degradación de los suelos	9
2.4. Relación del Carbono con la materia orgánica del suelo	10
2.5. Densidad aparente de los suelos	11
2.6. Porosidad total de los suelos	12
2.7. Cambio climático y sus principales impactos	12
2.8. Cambio climático y biodiversidad	14
2.9. Gases de Efecto Invernadero (GEI)	16
2.9.1. Emisiones por el manejo del estiércol	18
Capítulo 3. Materiales y Métodos	20
3.1. Secuestro de Carbono por especies arbóreas	20
3.2. Muestreo y clasificación de los suelos	21
3.3. Estudio de algunas propiedades físico-químicas de los suelos	22
3.3.1. Contenido de materia orgánica	22
3.3.2. Estudio de la densidad aparente y porosidad total de los suelos ---	22
3.4. Estudio del contenido de Carbono almacenado en los suelos	23
3.5. Estimación de las emisiones de Metano por la fermentación entérica del ganado bovino, el manejo del estiércol porcino y el cultivo de arroz en aniego	23
3.6. Estimación de las emisiones de Óxido Di nitroso por manejo del estiércol, aplicación de fertilizantes nitrogenados y residuos de cosecha de plantas fijadoras de nitrógeno	23
3.7. Procesamiento estadístico	24
Capítulo 4. Resultados y Discusión	25
4.1. Secuestro de Carbono por especies arbóreas	25
4.2. Muestreo y clasificación de los suelos	28
4.3. Estudio de algunas propiedades físico-químicas de los suelos	29
4.3.1. Contenido de materia orgánica	29
4.3.2. Estudio de la densidad aparente y porosidad total de los suelos ---	29
4.4. Estudio del contenido de Carbono almacenado en los suelos	31
4.5. Estimación de las emisiones de Metano por la fermentación entérica del ganado bovino, el manejo del estiércol porcino y el cultivo de arroz en aniego	33

4.6. Estimación de las emisiones de Óxido Di nitroso por manejo del estiércol, aplicación de fertilizantes nitrogenados y residuos de cosecha de plantas fijadoras de nitrógeno -----	36
Capítulo 5. Conclusiones -----	38
Capítulo 6. Recomendaciones -----	39
Capítulo 7. Bibliografía -----	40
Capítulo 8. Anexos.	

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se puede definir como la transformación irreversible de las condiciones climáticas en amplias zonas de la Tierra, debido a la acción simultánea de los factores naturales y antrópicos (Estela, 2010). Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) provocan un fenómeno climático llamado efecto invernadero, lo cual impide que la radiación proveniente del sol retorne al espacio, provocando cambios en el clima, principalmente en la temperatura media global y un aumento en el nivel del mar. El cambio climático es inducido principalmente por GEI como el Metano (CH_4), Óxido Di nitroso (N_2O) y el Dióxido de Carbono (CO_2). El ritmo de aumento de las emisiones de estos gases se ha incrementado notablemente en los últimos años, provocado principalmente por dos actividades humanas: la actividad agropecuaria intensiva con altos insumos y la quema de combustibles de fósiles. La contribución total de la agricultura para los cambios climáticos, está estimada entre 17% y 32% de todas las emisiones de GEI causadas por la actividad humana (Smith, 1993).

Los principales componentes de almacenamiento de Carbono en el uso de la tierra son el Carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo. (Brown *et al.*, 1997).

En la actualidad la reducción de las emisiones de GEI y el secuestro de Carbono a nivel de fincas es un tema ampliamente debatido, ya que el mayor número de estas están en manos de productores privados y estos deciden por el uso de la tierra.

En Cuba, la información existente relacionada con el tema, no satisface las necesidades de investigadores y estudiosos, por lo que se hace necesario realizar investigaciones que nos permitan disponer de datos provenientes de distintas prácticas de manejo de agroecosistemas. Para ello se formuló la siguiente hipótesis:

HIPÓTESIS

El conocimiento de los niveles de Carbono retenido y las emisiones de Metano y Óxido Di nitroso, en los sistemas agrícolas, posibilita recomendar alternativas que permiten aminorar las causas del cambio climático.

Objetivo general.

Estimar el secuestro de Carbono, la emisión de Metano y Óxido Di nitroso generados en tres fincas de la provincia de Villa Clara.

Objetivos específicos.

1. Determinar en las fincas estudiadas el Carbono secuestrado por la biomasa de especies arbóreas.
2. Determinar la dependencia entre los componentes de estimación del secuestro de Carbono.
3. Determinar en suelos bajo cultivos de rotación y plantaciones de Mango establecidas por más de treinta años, la relación existente entre el contenido de materia orgánica, el secuestro de Carbono, la densidad aparente y la porosidad total de los mismos.
4. Estimar las emisiones de Metano y Óxido Di nitroso producidas por distintas fuentes, en las fincas evaluadas.
5. Identificar las principales fuentes causantes de emisiones de Metano y Óxido Di nitroso en las fincas evaluadas.

2. RESEÑA BIBLIOGRAFICA

2.1. Impacto del Dióxido de Carbono en la agricultura.

La agricultura es actualmente una de las más importantes fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en el mundo. Su contribución total para los cambios climáticos, está estimada entre 8,5 mil millones y 16,5 mil millones de toneladas de Dióxido de Carbono (entre 17% y 32% de todas las emisiones de gases estufa causadas por el ser humano). Un marcado papel en este campo lo juega el uso excesivo de fertilizantes el cual es responsable de la mayor parte de las emisiones de este gas (2,1 mil millones de toneladas de CO₂ anuales) (Smith, 1993).

Cada año en las áreas forestales se almacenan cantidades importantes de biomasa la que ayuda a reducir los niveles de Carbono en la atmósfera (Dixon *et al.*, 1994).

Se calcula que en el decenio de 1980, las emisiones netas de Carbono debidas al cambio de uso de la tierra fueron de 2 a 2,4 Gt por año, cifra equivalente al 23-27% de todas las emisiones antropógenas (Fearnside, 2000).

Las regiones tropicales, por la explotación desmesurada a que han estado sometidas, sobre todo por la tala y quema de sus recursos boscosos, conjuntamente con los problemas de agricultura intensiva y migratoria que persisten en estas regiones, resultan de gran importancia para el establecimiento de medidas que conlleven a la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera, sobre todo de CO₂. Es por ello que hoy en día se están teniendo políticas de manejo agroecológico, con el establecimiento de fincas orgánicas en regiones tropicales, con el fin de mitigar la emisión de GEI a la atmósfera. Para esto es necesario ante todo realizar un diagnóstico del estado del Carbono en los ecosistemas, siendo el suelo el primer factor a considerar para la sostenibilidad de los agrosistemas. Cuba resulta un ejemplo de antropogénesis tropical, donde han incidido procesos de deforestación intensa, agricultura migratoria y agricultura intensiva o de altos insumos. Por estas razones, para nuestro país resulta de vital importancia analizar el comportamiento del Carbono en los suelos y cuál es la situación actual, como fundamento para establecer políticas de captura y secuestro del Carbono en nuestros ecosistemas, tanto naturales como agrícolas. Cuba es un país cuyos bosques naturales estuvieron sometidos a la deforestación durante la época colonial (hasta 1900) y de desarrollo capitalista (1900-1958), de forma tal que al triunfo

de la Revolución Cubana, en 1959, ya se llegó a tener solamente 13 % del territorio cubierto de bosques.

Al finalizar la Guerra de Independencia en 1898, la industria azucarera se encontró por sí misma en una condición de debilitamiento muy seria. En algunas partes de la Isla la producción casi había cesado. De acuerdo con los registros, en los tres años de esta guerra la producción de azúcar se redujo a aproximadamente el 60 % en la parte occidental de la Isla y en más del 90 % en la parte oriental. Con la paz se restableció la industria y de nuevo se extendió. Hubo una extensión notable de caña cultivada en los terrenos forestales de Camagüey y Oriente. Esta expansión llegó a su clímax durante la Guerra Mundial e inmediatamente después de esta y ha dejado una impresión bien definida en la agricultura de las extensas regiones recientemente abiertas en las provincias orientales. La gran presión, o quizás el estímulo, bajo el cual tuvo lugar el desarrollo de estas áreas orientales, favorecieron la adopción de métodos crudos para traer estos terrenos vírgenes al cultivo lo más pronto posible. Expusieron también que “Sin ninguna medida, grandes áreas de árboles nativos fueron sacrificados en aquel momento, a fin de extender la producción y casi todas las clases de terrenos fueron sembrados, incluyendo algunos donde la planta probablemente no pueda cultivarse económicamente, cuando el cultivo se haga necesario como lo será en algunos años, y aún algunos donde los rendimientos fueron excesivamente bajos en el suelo virgen” (Hernández *et al.*, 2007).

2.2. Sumideros de Carbono y su manejo.

En principio, el sumidero de Carbono de cualquier ecosistema terrestre tiene dos componentes principales: el área total de esos ecosistemas, y la densidad de Carbono por unidad de área. No obstante, para aumentar y mantener los sumideros de Carbono, podemos desarrollar acciones para incrementar el área de estos ecosistemas, aumentar su densidad de Carbono o realizar estas dos acciones simultáneamente.

El manejo sostenible de los sumideros de Carbono en los bosques existentes, en los sistemas agroforestales y en las tierras agrícolas ofrece una opción interesante. El Carbono superficial de los ecosistemas forestales tropicales varía entre 25 y 250 t. No obstante, la reducción de la deforestación y el incremento de las medidas para la protección de bosques ofrecen una manera efectiva en cuanto a costo, para reducir las emisiones de CO₂ (Kanninen, 1998).

Las plantas utilizan CO₂ y liberan O₂ durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan componentes de Carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de Carbono. Por otro lado, es conocido que la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar Carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población de cada estrato y por comunidad vegetal (Alegre *et al.*, 2000).

Otras opciones de manejo de Carbono relacionadas con los ecosistemas existentes y con los sistemas de producción, incluyen la incorporación de árboles a los sistemas agrícolas, ya sea como sistemas agroforestales o silvopastoriles. El contenido de Carbono superficial de estos sistemas varía entre 10 y 70 t ha⁻¹, y el flujo anual de Carbono al sistema está entre 1 - 10 t ha⁻¹ año⁻¹. Cuando se considera el Carbono almacenado en el suelo de estos sistemas, las cifras anteriores pueden multiplicarse por el factor 2 (Houghton *et al.*, 1991).

El potencial de absorción de Carbono mediante actividades de forestación/reforestación depende de la especie, el lugar y el sistema de ordenación y, por consiguiente, es muy variable. Los índices normales de absorción, expresados en toneladas de Carbono (TC) por hectárea y año, en el trópico es de 3,2 a 10 TC (Brown, 1996).

Los principales componentes de almacenamiento de Carbono en el uso de la tierra son el Carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo. Se ha estimado que el Carbono (C) en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 t ha⁻¹, respectivamente (Brown *et al.*, 1997), y que el C en el suelo puede variar entre 60 y 115 t ha⁻¹. Datos reportados de pasturas tropicales en Latinoamérica muestran cómo el establecimiento de pasturas mejoradas logra aumentar los niveles de Carbono bajo el suelo.

El potencial de los sistemas agroforestales (suelos y biomasa) para almacenar Carbono puede variar entre 20 y 204 t ha⁻¹, estando la mayoría de este Carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1,8 y 5,2 t ha⁻¹ (Ibrahim *et al.*, 2005).

Los bosques son todo tipo de vegetación dominada por árboles. En todo el mundo se utilizan muchas definiciones del término "bosque", lo que refleja las amplias diferencias en las condiciones biogeofísicas, estructuras sociales, y economías. Véase un estudio

del término bosques y asuntos relacionados, como forestación, reforestación, y deforestación, en el Informe Especial del (IPCC, 2001).

Los bosques juegan un papel fundamental no sólo para la vida de nuestro Planeta, sino para la sobre vivencia humana. La capa vegetal terrestre del mundo absorbe el 40% de las emisiones globales de CO₂ y son fuente fundamental para el agua. En la medida en que se acelera la destrucción de los bosques no sólo se elimina la posibilidad de absorción de los gases efecto invernadero sino que el mismo hecho libera más CO₂ a la atmósfera (Granada, 2005).

El ciclo del carbono es dinámico y continuo; consiste en el intercambio de este gas, en forma de dióxido, entre la atmósfera terrestre, los combustibles fósiles, los océanos y la vegetación y suelos de los ecosistemas terrestres. El intercambio más grande se da entre la atmósfera y las plantas, aunque la dinámica con el océano también es importante de considerar. El tiempo promedio de residencia de una molécula de CO₂ en la atmósfera, antes de que sea removida por otro sumidero, es de cerca de tres años. Hay un intercambio entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres de aproximadamente 60 Gt en cada dirección; es decir, entre la atmósfera y los ecosistemas terrestres por fotosíntesis y entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera por los procesos de respiración de las plantas y los microorganismos en la hojarasca y en el suelo (FAO, 2000).

A través de la fotosíntesis, los árboles en crecimiento despiden oxígeno y consumen agua, luz y CO₂ el carbono se almacena en la biomasa aérea y subterránea, así como en la biomasa muerta y en la superficie del suelo. Los bosques en expansión son calificados de “sumideros de carbono”: absorben gas carbónico. Hay corrientes que manifiestan que cuando dejan de crecer, los árboles ya no son sumideros, sino receptáculos de carbono y que por tanto estarían cumpliendo un papel neutro en el balance final de CO₂ (Boukhari, 1999).

De otro lado, hay recientes estudios que demuestra la importancia de los bosques maduros como sumideros de carbono, como Granada (2005) y Castro (2009) entre otros. Este es un tema en el que no hay todavía un consenso científico. Estudios realizados en San Martín (Perú) encontraron que los sistemas agroforestales, al combinar los cultivos o frutales con especies forestales, incrementan sus niveles de captura de Carbono, mejorando además su productividad. La capacidad de captura de carbono está en función de la cantidad de especies forestales, el tipo de cultivo, la edad

y el tipo de suelo. El estudio encontró que el nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca es significativo para sistemas agroforestales. Consecuentemente, una opción para recuperar las áreas deforestadas que están en proceso de degradación, podrían ser los sistemas agroforestales (Lapeyre *et al.*, 2004).

Los modelos tradicionales del ciclo del carbono se han enfocado en un larga transferencia anual de CO₂ de la atmósfera a las plantas durante el proceso de fotosíntesis y el largo “retorno” del gas a la atmósfera, durante el proceso de descomposición, aunque los modelos recientes toman en cuenta el intercambio de Carbono entre la atmósfera y el océano (Schlesinger, 1995).

El actual ciclo global del Carbono posee dos flujos significativos entre depósitos e intercambios: (i) entre la atmósfera y la vegetación (120 Gt yr⁻¹), que incluye intercambios del suelo de 60 Gt yr⁻¹. (ii) entre la atmósfera y el océano (105 to 107 Gt yr⁻¹). Según De La Vega (2000) la captura de carbono se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles. Los árboles absorben dióxido de carbono (CO₂) atmosférico junto con otros elementos en suelos y aire para convertirlos en madera. La cantidad de CO₂ que un árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez.

Cuando el árbol muere, emite hacia la atmósfera la misma cantidad de carbono que capturó. En estado estable, un bosque en plena madurez aporta la misma cantidad de carbono que captura. Por tanto, no es importante cuanto carbono el árbol captura inmediatamente, sino cuanto carbono captura durante toda su vida. El sector forestal aporta casi el 40% de las emisiones totales de CO₂ y que el sector de generación de energía tiene la contribución más importante (Maser, 1995).

Hoy se mira a los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio climático, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), el gas con mayor participación y que se fija a través del proceso de fotosíntesis. El stock de carbono en un bosque se encuentra permanentemente influenciado por las actividades antropogénicas de cambio de uso de suelo y las prácticas silvícola y se distribuye entre: la biomasa sobre el suelo, la biomasa por debajo del nivel del suelo, el suelo, los productos madereros y los

desechos. Una manera de contribuir a atenuar los cambios climáticos es mediante la reforestación siempre y cuando se garantice un manejo sostenible de los recursos del bosque (Mogena, 2007).

Cuba a fines de 1997, retenía en sus bosques 36,320.00mt de carbono, de las cuales la mayor parte (64.09%) estaba secuestrado en los bosques protectores y de conservación, en tanto que algo más de una tercera parte del total (35.92%) estaba almacenado en los bosques productores (Álvarez *et al.*, 2007).

La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) (CAC) constituyen un proceso consistente en la separación del CO₂ emitido por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo (PNUMA y OMM, 2005).

La captura y almacenamiento de carbono (CAC) permite el control de las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de electricidad o hidrógeno basada en combustibles fósiles que, a largo plazo, podría reducir parte de las emisiones de CO₂ dispersas originadas por los sistemas de suministro de energía distribuida y transporte (PNUMA y OMM, 2005).

El secuestro de carbono tiene que ser dirigido al almacenaje a largo plazo de materia orgánica y al aumento de la biomasa en los sistemas de producción. En este sentido, los sumideros más prometedores son sin duda todo tipo de ecosistemas forestales y suelos vírgenes y agrícolas (FAO, 2002).

Así, existen diversas estrategias para aumentar el secuestro de carbono en la atmósfera y a su vez para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La materia orgánica en los suelos es influenciada por condiciones y elementos tales como: la precipitación, la temperatura, el contenido de arcilla, el suministro de Biomasa y el drenaje interno del suelo. Prácticas agrícolas como retorno de residuos, abonamiento con estiércoles, labranza, agroforestería o prevención de erosión tienen una influencia sobre la conservación de materia la orgánica del suelo (Duxbury, 1995).

Hay un consenso a nivel mundial que considera que, para la dinámica intrínsecamente depredadora del sistema capitalista los bosques son una de las principales víctimas, alimentando así el cáncer del capitalismo: el calentamiento global. Los megaproyectos de acumulación de la riqueza y control de recursos naturales y estratégicos están acabando con los bosques. Minas y presas; plantaciones forestales de eucalipto, pino, palma africana, palma comedor, entre otras; agro combustibles y otros monocultivos

como la piña; el turismo, el tráfico de maderas, por mencionar tan solo algunas, han acelerado la depredación de los bosques. Hoy, más del 70% de ellos en el mundo se han talado produciendo desertificación y por tanto agudizando el calentamiento global. Este calentamiento es lo que hoy se traduce en aumentos de temperatura, sequías, inundaciones, cambios en las corrientes marinas, mayores enfermedades y epidemias; entre otros efectos (Castro, 2009). También agrega ese autor que el capitalismo ha convertido a su cáncer en un negocio más, lucrando con la enfermedad y agudizándola a la vez. Para ello, el Banco Mundial y otras Instituciones financieras se lanzan a la generación de mecanismos para lucrar con aparentes soluciones al cáncer que ellos mismos y las grandes trasnacionales han generado.

2.3. Degradación de los suelos.

En la actualidad el fantasma de la degradación ambiental ha pasado a ser familiar en la mente de muchos hombres y los peligros que su andar acarrea sobre la existencia misma de la humanidad, se acentúan a cada minuto. Son incontables estos peligros, pero hay algunos que por su extensión e importancia deben tratarse con prioridad. Entre ellos debemos señalar el uso y manejo de los suelos agrícolas, que representan el capital máspreciado en la producción de alimentos para el hombre y los animales. (Ascanio, 2004).

Las tierras de América Latina están sufriendo por día una continuada erosión. Actualmente más de 306 millones de hectáreas están afectadas por una degradación del suelo de origen humano. La causa principal de los síntomas de degradación indicados es el uso inadecuado de la tierra, que actualmente constituye la cuestión ambiental de mayor gravedad y cuyos principales efectos son: la erosión, desertificación, deterioro de los pastizales, salinización y alcalinización de la tierra de regadío (Benítez, 2004).

Alfonso y Carrobello (2002) plantearon que de los suelos agrícolas cubanos el 76,8 por ciento están afectados por diferentes procesos de degradación, donde se conjugan factores de diversa índole que limitan el rendimiento de los cultivos a valores inferiores a un 70 %. El 30,8 % del total están clasificados en la categoría de pocos productivos, mientras que el 46 por ciento, se consideran muy pocos productivos.

Existen propiedades edáficas que pueden ser utilizadas como indicadores del estado o la calidad de un suelo. Estos parámetros deben ser identificados y cuantificados en

cada ambiente en particular para poder documentar los cambios que se suceden en el corto y largo plazo, como consecuencia de las prácticas de manejo que se aplican. En ambientes tropicales o subtropicales, frágiles por naturaleza, la determinación y el seguimiento de estos indicadores es fundamental para comprender el funcionamiento del sistema suelo y así poder definir las estrategias más adecuadas para mantener la productividad del sitio en las sucesivas rotaciones (Lupi *et al.*, 2002).

En un suelo de buena calidad se deben obtener cultivos sanos y de alto rendimientos, con un mínimo de impactos negativos sobre el medio ambiente. Es un suelo que también brinda propiedades estables al crecimiento y salud de los cultivos, haciendo frente a condiciones variables de origen humano y natural, principalmente las relacionadas con el clima, es decir, debe ser un suelo flexible y resistir el deterioro (Ascanio, 2004).

2.4. Relación del Carbono con la materia orgánica del suelo.

Una forma de compensar al efecto invernadero es fijar parte del Dióxido de Carbono de la atmósfera en forma de materia orgánica. Con el proceso de la fotosíntesis las plantas pueden extraer el Dióxido de Carbono de la atmósfera e incorporarlo en sus tejidos. Mientras que este Dióxido de Carbono se quede fijado en la planta, en la madera o en el suelo, ya no aporta al efecto invernadero.

La materia orgánica es importante para un suelo vivo y fértil y para establecer un equilibrio. Con sistemas agroforestales se puede fijar Carbono en la biomasa de los árboles o en las cercas vivas. Los cambios hacia un comportamiento que implique menos emisiones de gases con efecto invernadero son responsabilidad de cada uno de nosotros. Muchas veces podemos lograr mucho con poco esfuerzo (Bretscher, 2005).

Guerrero en 1999 planteó que la materia orgánica del suelo contribuye a: mejorar la porosidad del suelo, aumenta la infiltración y la capacidad de almacenar el agua; los suelos compactos se vuelven más suaves, crea estructura favorable al crecimiento de las raíces; es fuente permanente de gran reserva de nutrientes para las plantas; alimenta a los microorganismos, los cuales al morir se convierten también en nutrientes y regula el PH del suelo.

La materia orgánica constituye sólo un porcentaje del peso de los suelos (1-6%), la cantidad y el tipo influye en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo (Magdoff, 1997).

El suelo es un gran sumidero de Carbono; sin embargo, los proyectos de secuestro Carbono no le prestan la atención requerida, ya que las negociaciones de Carbono actuales no incluyen este componente, debido a que no es tan visible como la biomasa por encima del suelo. El cambio en el Carbono orgánico del suelo debe ser medido a lo largo del sitio del proyecto, a una profundidad de 20 a 30 cm, ya que el cambio de uso del suelo ejerce el mayor efecto en las capas superiores (IPCC, 1996).

2.5. Densidad aparente de los suelos.

La densidad aparente (ρ_b) puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo (Doran *et al.*, 1994).

Cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total (e). La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de 1.759 Kg m^{-3} limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, ese valor crítico es de 1.460 a 1.630 Kg m^{-3} , para la misma especie (Jones, 1983). Los valores que puede tomar la densidad aparente depende de muchos factores, que van desde la textura, contenido de materia orgánica, hasta el manejo que se le da al suelo. En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable.

Esta es afectada por la estructura del suelo, que es, su flojedad o grado de compactación, así como también por sus características de contracción y expansión. Esto último depende tanto de su contenido de arcilla como de la humedad del suelo. El espacio poroso puede ser altamente reducido por compactación, pero nunca se puede llegar a eliminar totalmente. La densidad aparente también es usada para referir a un

volumen de suelo en el campo, los resultados de los análisis de laboratorios. Esta utilidad es necesaria para la práctica agronómica de la fertilización. La densidad aparente está directamente relacionada con la estructura del suelo, y por lo tanto depende de los mismos factores de control. Este es un dato que se puede obtener con bastante facilidad, y por ello es un parámetro que puede estar disponible para los diferentes horizontes de un suelo (Ingaramo *et al.*, 2003).

2.6. Porosidad total de los suelos.

La porosidad resulta importante en la dinámica de el agua, el aire, la temperatura y nutrientes del suelo y afecta la traslocación en los procesos de formación del suelo (Baver *et al.*, 1973). La porosidad está formada por la suma de porcentajes de poros de diferentes tamaños que actúan de la manera siguiente: los poros grandes sirven para la aireación e infiltración; los poros medianos para la conducción de agua y los pequeños para el almacenamiento del agua disponible para la planta (Gavande, 1976). Las prácticas que aumenten la porosidad total, como las que faciliten la entrada de agua al suelo y eviten las pérdidas por evapotranspiración, tenderán a generar el desarrollo de una agricultura sustentable.

2.7 Cambio climático y sus principales impactos.

El cambio climático se puede definir como la transformación irreversible de las condiciones climáticas en amplias zonas de la Tierra, debida a la acción simultánea de los factores naturales y antrópicos (Estela, 2010).

En 1988 se crea el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), para 1992, en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil, se crea la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés). Con la labor política en el marco de la convención, en 1997 se da un importante paso producto de la colectividad global de discusión, el Protocolo de Kyoto. El protocolo de Kyoto define acciones concretas de los protagonistas (Naciones del mundo) frente al cambio climático. A pesar del gran esfuerzo que la definición del protocolo significa y la orientación que da a largo plazo en el plano mundial, aun no se ubica como una solución global para evitar las interferencias humanas en el clima (Ríos *et al.*, 2006).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) se adoptó el 9 de mayo de 1992 en Nueva York, y más de 150 países y la Comunidad Europea la firmaron en la Cumbre sobre la Tierra de 1992 celebrada en Río de Janeiro. Su objetivo es la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

Contiene compromisos para todas las Partes. En virtud de la Convención, las Partes del Anexo I se comprometen a volver las emisiones de *gases de efecto invernadero* no controladas por el Protocolo de Montreal a los niveles de 1990 hacia el año 2000, la Convención entró en vigor en marzo de 1994 (IPCC, 2001).

Según el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, es una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su *variabilidad*, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). Se debe tener en cuenta que la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMCC), en su Artículo 1, define cambio climático como: un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Al respecto la CMCC distingue entre cambio climático atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y 'variabilidad climática' atribuida a causas naturales. Los modelos de producción industrializada siguen creciendo y la deforestación de bosques aún no disminuye considerablemente. Por eso, el problema del cambio climático global, inducido por las actividades humanas, es centro de atención de los científicos y, en las últimas décadas, foco de discusión de los políticos (Konyushkov, 1998) citado por Castro y Amador (2007).

Las consecuencias del efecto invernadero son numerosas y de gran repercusión. El aumento de la temperatura del planeta causa un desequilibrio en el balance climático. Extremos climáticos como tormentas fuertes, olas de frío, o calor, lluvias fuertes y sequías, siempre son mas intensas y mas frecuentes (Bretscher, 2005).

Por otra parte el cambio en el uso de las tierras es un cambio en el uso o gestión de las tierras por los humanos, que puede llevar a un cambio en la cubierta de dichas tierras. La cubierta de las tierras y el cambio en el uso de las tierras pueden tener un impacto en el albedo, la evapotranspiración, y las fuentes y los sumideros de gases de efecto

invernadero, u otras propiedades del sistema climático, y puede tener igualmente consecuencias en el clima, ya sea de manera local o mundial. De acuerdo a Informe Especial del IPCC: Informe Especial del IPCC: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2000).

2.8 Cambio climático y biodiversidad.

El cambio acelerado en el patrón climático, debido a procesos naturales y/o antropogénicos, puede provocar la inestabilidad del sistema terrestre, pudiendo impactar de manera negativa los procesos sociales, económicos, biológicos y ecológicos que rigen el planeta. Desde el principio de la industrialización en el siglo XVIII, la concentración atmosférica de los llamados Gases con Efecto Invernadero (GEI) aumentó drásticamente. Los GEI provocan un fenómeno climático llamado efecto invernadero, un fenómeno que impide a la radiación proveniente del sol retornar al espacio, provocando cambios en el clima principalmente en la temperatura media mundial y un aumento en el nivel del mar. Estimaciones recientes determinaron que el promedio de temperaturas en todo el globo se elevó en $0,6 \pm 0,2$ °C en el transcurso del Siglo XX, y se prevé que el promedio del nivel de la superficie marina de todo el planeta, aumentará de 0,09 a 0,88 m para el año 2100 (IPCC, 2001).

La diversidad biológica es la cantidad y abundancia relativa de diferentes familias (diversidad genética), especies y ecosistemas (comunidades) en una zona determinada. Las acciones para conservar y usar de manera sostenible la biodiversidad por otras razones además del cambio climático, podrían repercutir de forma predominantemente positiva en la cantidad o velocidad del cambio climático y en la capacidad de los seres humanos para adaptarse al cambio climático. Entre los ejemplos específicos se incluyen: Las áreas establecidas para conservar la biodiversidad representan almacenes de carbono a largo plazo. El mantenimiento de la biodiversidad conduce a la protección de una mayor cantidad de grupos genéticos de los que pueden surgir nuevos genotipos de especies domesticadas y silvestres adaptadas al cambio climático y a las condiciones ambientales. El mantenimiento de la biodiversidad requiere regímenes naturales de alteraciones, mientras que el manejo para el máximo almacenaje de carbono tiende a evitar las alteraciones (IPCC, 2005).

El Informe Especial del IPCC (2005b): Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, que se centró en los problemas relacionados con el uso de los suelos y el

Protocolo de Kyoto, constituyen fuentes primordiales de información para esta Sección. La contribución del Grupo de Trabajo III al Tercer Informe de Evaluación es una fuente esencial para el debate en torno a las actividades para la mitigación, pero contiene menos información sobre la biodiversidad.

Los bosques, los suelos agrícolas y los otros ecosistemas terrestres ofrecen un importante potencial para la mitigación, gracias a la creación de sumideros de carbono mediante cambios en el uso de los suelos (por ejemplo, la forestación y la reforestación), a las actividades para evitar la deforestación, en las tierras de cultivos y pastoreo, y en los bosques. El potencial mundial calculado respecto de las opciones para la mitigación biológica es de unos 100 Gt C (acumulativos) para el año 2050, lo que equivale a un 10-20 por ciento de las emisiones previstas provenientes de combustibles fósiles durante ese período, aunque existen importantes incertidumbres asociadas con este cálculo. Se prevé que el mayor potencial biológico se va a hallar en las regiones tropicales y subtropicales (Adams y Wall, 2000).

Los proyectos para la forestación y la reforestación, y para reducir la deforestación que gozan de criterios de selección y manejo apropiados, así como la participación de comunidades locales pueden mejorar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Existen opciones de manejo para lograr sinergia entre el secuestro de carbono y la biodiversidad por ejemplo, la incorporación de ciclos de rotación más largos, la modificación del tamaño de los árboles que se talan, la modificación de las longitudes de bordes, la creación de un mosaico de árboles, la minimización del uso de sustancias químicas, la reducción o eliminación de medidas para eliminar la vegetación subyacente, y el empleo de siembras de especies mezcladas que incluyan especies autóctonas (IPCC, 2001).

Las actividades y proyectos en el sector agrícola para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar el secuestro de carbono, pueden fomentar la agricultura sostenible, el desarrollo rural y mejorar o aumentar la biodiversidad. Hay un gran número de actividades para el manejo agrícola que se puede emplear para secuestrar el carbono en los suelos (la intensificación, la irrigación, la labranza ecológica, el control de la erosión, y el manejo de los arrozales. Todos pueden tener efectos positivos o negativos sobre la biodiversidad, dependiendo de las prácticas y del contexto en el que se apliquen. Estas actividades incluyen la incorporación de enfoques participativos centrados en los agricultores y una cuidadosa consideración de los

conocimientos y las tecnologías autóctonas o locales, el fomento de la rotación de cultivos, el empleo de materias orgánicas en sistemas agrarios con pocos recursos y el uso de la agrobiodiversidad (valiéndose, por ejemplo, de variedades de cultivos adaptadas a las condiciones locales y de la diversificación de cultivos). Las prácticas agrícolas que mejoran y conservan el carbono orgánico del suelo también pueden producir o disminuir las emisiones de CH_4 y de N_2O , cuestión que pretendemos alcanzar en el presente proyecto y cumplir con las orientaciones del protocolo de Kyoto (IPCC, 2005).

Las prácticas agrícolas de intensificación que mejoran la producción y la aportación al suelo de residuos derivados de las plantas, incluyen la rotación de cultivos, la reducción de barbechos, el uso de cultivos para la protección de los suelos, las variedades de gran rendimiento, el manejo integrado de plagas, una fertilización adecuada, los suplementos orgánicos, los riegos, el manejo del nivel freático, y el manejo in situ. Todos ellos tienen numerosos beneficios auxiliares, entre ellos un aumento de la producción de alimentos, el control de la erosión, la conservación de las aguas, el mejoramiento de la calidad de las aguas, y una reducción de la acumulación de sedimentos en estanques y vías fluviales, a la biodiversidad. Sin embargo, la calidad de los suelos y del agua se encuentra afectada negativamente por el empleo indiscriminado de sustancias químicas de riegos. El aumento en el empleo de fertilizantes con nitrógeno incrementa el uso de energía basada en combustibles fósiles y puede que incremente las emisiones de N_2O (IPCC, 2001).

2.9 Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Entre los principales GEI resaltan el Metano (CH_4), el Óxido Di nitroso (N_2O) y el Dióxido de Carbono (CO_2); sus fuentes están estrechamente relacionadas con actividades humanas. Se estima que un 75% de las emisiones de CO_2 en los últimos 20 años se debe a la quema de combustibles de origen fósil y que, el restante 25%, se debe principalmente a cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación. En cuanto al N_2O al CH_4 las mayores fuentes provienen de actividades industriales como la fabricación y uso de agroquímicos y fertilizantes nitrogenados, la ganadería y la agricultura y la emisión de gases desde los suelos (Lal *et al.*, 1998; IPCC, 2001).

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): "Por gases de efecto invernadero se entiende aquellos

componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos (de origen humano), que absorben y reemiten radiación infrarroja (IPCC, 2005).

La combinación de vapor de agua (nubes) y varios gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el Óxido Di nitroso (N_2O) mantiene la temperatura promedio mundial en 14°C . Estos gases se llaman gases con efecto invernadero (GEI) porque funcionan como el vidrio o el plástico de un invernadero. Dejan que los rayos solares entren a la tierra, pero al ser reflejados, los gases impiden que los rayos escapen al espacio y los reflejan de nuevo en la superficie. De esta manera los gases con efecto invernadero (GEI) son responsables de retener el calor en la atmósfera, de igual manera como el vidrio o el plástico retienen el calor en un invernadero. De ahí el nombre de este fenómeno (Bretscher, 2005).

Los gases de efecto invernadero pueden ser naturales o generados por las actividades del hombre.

Entre los primeros se encuentran:

- Vapor de agua (H_2O).
- Dióxido de carbono (CO_2).
- Metano (CH_4).
- Óxido Di nitroso (N_2O).
- Ozono (O_3).

Mientras que entre los segundos están:

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4).
- Óxido Di nitroso (N_2O).
- Perfluorometano (CF_4) y perfluoroetano (C_2F_6).
- Hidrofluorocarbonos (nombres comerciales: HFC-23, HFCS-134a, HFC-152a).
- Hexafluoruro de azufre (SF_6).

El dióxido de carbono es, sin dudas, el gas con efecto invernadero de mayor impacto. Aporta más de la mitad al calentamiento global (60%). Luego, sigue el metano, que aporta un poco menos de la cuarta parte (20%). El óxido de nitrógeno tiene la menor importancia, con solo 4-5%. Existen otros gases que aportan alrededor del 16%. El dióxido de carbono (CO_2) proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural, o sus derivados) en la producción de energía, en el funcionamiento de los procesos industriales, y en su uso en el sector transporte;

también proviene de los procesos industriales [como la producción de cemento, cal, sosa, amoníaco, carburos de silicio o de calcio, acero, y aluminio], la deforestación –que provoca la descomposición de la materia orgánica- y de la quema de la biomasa vegetal. La agricultura representa aproximadamente la quinta parte de los efectos previstos de los gases termo activos antropógenos, que producen alrededor del 50 y el 70% respectivamente de las emisiones antropógenas globales de CH₄ y CO₂; las actividades agrícolas (sin incluir la conversión forestal) representan en torno al 5% de las emisiones antropógenas de CO₂. Las estimaciones de la reducción global potencial en Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático en todo el sector agrícola varían entre equivalentes de 1,1 y 3,2 Gt C al año. De las reducciones globales totales, aproximadamente el 32% puede deberse a las reducciones de las emisiones de CO₂, el 42% a las compensaciones de carbono mediante la producción de biocombustibles en la tierra cultivada actualmente, el 16% a la reducción de las emisiones de CH₄, y el 10% a la reducción de las emisiones N₂O (Bretscher, 2005).

La mayoría de los científicos coincide en que el efecto invernadero va en aumento. Están de acuerdo en que urge tomar medidas para hacer frente al calentamiento global, ya que las consecuencias son cada vez más graves y costosas. Sobre todo, tenemos que disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero. Pero antes de que podamos pensar en posibles medidas tenemos que saber cuáles son esos gases y de donde provienen exactamente (Amador, *et al.*, 2007).

2.9.1. Emisiones por el manejo del estiércol.

El manejo del estiércol del ganado produce emisiones de metano y de Óxido Di nitroso. El metano se produce mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, mientras que el Óxido Di nitroso se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado. Cuando el estiércol se dispone en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas), la descomposición de la materia tiende a producir metano. Cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas) o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales, tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de metano; la temperatura y la humedad influyen en el desarrollo de las bacterias responsables de su formación. La composición del estiércol, que depende

de la dieta de los animales, también afecta la cantidad de metano producido, cuanto mayor es el contenido energético y la digestibilidad del alimento, mayor es el potencial de emisión de metano. La cantidad de Óxido Di nitroso producido es variable, dependiendo de la composición del estiércol y la orina, del tipo de bacterias involucradas en el proceso y de la cantidad de oxígeno y líquido en el sistema de manejo. Las emisiones de Óxido Di nitroso resultan del estiércol y la orina del ganado que se maneja en sistemas líquidos o que se recolecta y almacena en forma sólida. Para ambos gases, las emisiones anuales dependen de las variaciones en el tamaño de las poblaciones de cada especie ganadera (Berra y Finster, 2003).

Los sistemas de producción intensivos con elevados aportes de fertilizantes nitrogenados pueden ser una fuente importante de gases de efecto invernadero como el Óxido Di nitroso (N_2O) (Louro *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el período comprendido entre junio de 2007 y mayo de 2009 en una finca del municipio de Santa Clara y dos del municipio de Cifuentes, pertenecientes a la provincia de Villa Clara (tabla 1). Las coordenadas geográficas fueron tomadas del programa de posicionamiento satelital Google Earth del 2009.

Tabla 1. Área y localización de las fincas.

Fincas de:	Área (ha)	CCS	Municipio	Coordenadas		Elevación (msm)
				Latitud	Longitud	
Leandro Martín	13,42	Manuel Ascunce	Cifuentes	22 ⁰ 39' N	80 ⁰ 05' O	44,00
Raúl Martín	4,58	Manuel Ascunce	Cifuentes	22 ⁰ 38' N	80 ⁰ 03' O	53,30
Rubén Torres	17,00	Obdulio Morales	Sta. Clara	22 ⁰ 25' N	80 ⁰ 03' O	100,50

3.1. Secuestro de Carbono por especies arbóreas.

Se realizó un diagnóstico para conocer la totalidad de individuos de las especies arbóreas existentes en las fincas estudiadas, para valorar en su biomasa el Carbono retenido.

La estimación del secuestro de Carbono por la biomasa arbórea se efectuó según la metodología propuesta por Mercadet y Álvarez (2005).

Previamente, a cada planta se le midió la altura a través de un hipsómetro y el perímetro del fuste a 1,30 m del suelo utilizando una cinta métrica flexible. La edad de cada árbol se estimó a partir de la información brindada por los propietarios de las fincas.

A partir de los datos primarios se realizaron los siguientes cálculos:

$$1) Df (m) = Pf (cm) / \pi / 100$$

$$2) Vf (m^3) = (\pi / 4) * h * Df^2 * Cf$$

$$3) Bf (t) = Vf * De / 1000$$

$$4) Ba (t) = Bf * Fe$$

$$5) Br (t) = Ba * Cco$$

$$6) Bt (t) = Ba + Br$$

$$7) Cb (t) = Bt * Fc$$

Donde:

- Df --- Diámetro del fuste (m).
- Pf --- Perímetro del fuste a 1,30 m (cm).
- $\pi = 3.1416$
- Vf --- Volumen del fuste (m³).
- h --- Altura total de la planta (m).
- Cf --- Coeficiente de forma (para cada especie).
- Bf --- Biomasa del fuste (t).
- De --- Densidad específica (para cada especie)(Kg/m³).
- Ba --- Biomasa aérea (t).
- Fe --- Factor de expansión (ramas y follaje) = 1,74
- Br --- Biomasa de las raíces (t).
- Cco ---- Coeficiente de concomitancia orgánica (raíces) = 0,3
- Bt --- Biomasa total (t).
- Cb --- Carbono en la biomasa (t).
- Fc --- Fracción de carbono (para cada especie).

3.2. Muestreo y clasificación de los suelos.

En las tres fincas se muestrearon áreas con dos usos de la tierra diferentes, correspondiendo a dos perfiles de suelo por finca; para un total de seis perfiles de suelo analizados:

- Perfil 1 --- áreas bajo cultivos de rotación por más de treinta años.
- Perfil 2 --- áreas bajo plantaciones de mango (*Mangifera indica*. L) establecidas por igual tiempo.

En cada área se realizaron calicatas (anexo 4) con dimensiones de 1 x 1 x 1 m, tomando cuatro muestras de cada horizonte. Los seis perfiles de suelo analizados se describieron y caracterizaron en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, acorde a Hernández *et al.* (2006).

3.3. Estudio de algunas propiedades físico-químicas de los suelos.

Los niveles de Materia Orgánica, Porosidad total y Densidad Aparente se evaluaron acorde a las categorías propuestas por Cairo (2006) (ver anexos 1, 2 y 3).

3.3.1. Contenido de materia orgánica.

En los dos perfiles de suelo analizados en cada finca (según se señala en el acápite 3.2) se evaluó el contenido de materia orgánica y las reservas de Carbono, y su relación con algunas propiedades físicas.

Para el cálculo de materia orgánica se utilizó un gramo de suelo tamizado a 0.5 mm de cada horizonte; para su análisis se empleó la metodología propuesta por Walkley y Black. Su categoría de evaluación fue determinada según (Cairo, 2006).

3.3.2. Estudio de la densidad aparente y porosidad total de los suelos.

La Densidad Aparente (DA) y Porosidad total (Pt) fueron calculadas en tres profundidades del suelo (0-20 cm, 21-50 cm y de 51-100 cm), correspondiendo a los tres horizontes presentes en cada perfil realizado (según se señala en el acápite 3.2).

Para determinar la DA se utilizó el método del cilindro (anexo 5) que consiste en introducir en el suelo un cilindro metálico, extraer la muestra y secarla en un horno a 100 °C por 72 horas, y posteriormente determinar su peso. El volumen interior del cilindro utilizado es de 244 cm³.

El cálculo de la Densidad Aparente se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{Pss}{Vc}$$

DA: densidad aparente (g/cm³).

Pss: peso seco del suelo (g).

Vc: volumen interior del cilindro (cm³).

La Porosidad total se calculó según la fórmula:

$$Pt = (1 - DA / D) * 100$$

DA= Densidad aparente (g/cm³)

D= Densidad real del suelo (g/cm³)

Pt = Porosidad total (%).

3.4. Estudio del contenido de Carbono almacenado en los suelos.

La determinación de las reservas de Carbono en los suelos analizados, se efectuó a través de los siguientes procedimientos:

$$1) \% \text{COS} = \% \text{MOS} \times 0.58$$

Donde:

% COS: % de Carbono orgánico del suelo.

% MOS: % de materia orgánica del suelo.

0.58: Constante (% de COS en la MOS).

$$2) \text{CA} = \text{Pm} \times \text{DA} \times \% \text{COS}$$

Donde:

CA: Carbono almacenado en el suelo (t ha^{-1}).

Pm: Profundidad del suelo (cm) (0-20, 21-50, 51-100 cm).

DA: Densidad aparente (g/cm^3).

COS: Carbono orgánico el suelo (%).

3.5. Estimación de las emisiones de Metano por la fermentación entérica del ganado bovino, el manejo del estiércol porcino y el cultivo de arroz en aniego.

Para la estimación de Metano se utilizó el software del IPCC (2001) en el módulo Agricultura. Se evaluaron las emisiones en los procesos que contribuyen a la emisión de este gas, tales como: fermentación entérica del ganado, manejo del estiércol y cultivo de arroz en aniego.

Los valores de las emisiones de CH_4 están dados en TEC (Toneladas Equivalentes de Dióxido de Carbono), acorde al IPCC (2001), donde se considera que 1 t de CH_4 es 21 veces más nociva a la atmósfera que 1 t de CO_2 , por lo que se establecen las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ t (CO}_2\text{)} = 1 \text{ TEC}$$

$$1 \text{ t (CH}_4\text{)} = 21 \text{ TEC}$$

3.6. Estimación de las emisiones de Óxido Di nitroso por manejo del estiércol, aplicación de fertilizantes nitrogenados y residuos de cosecha de plantas fijadoras de nitrógeno.

La estimación de las emisiones de N₂O se realizó de igual forma por el software del IPCC (2001) en el módulo Agricultura. Fueron analizados los factores que dentro de las fincas contribuyeron a esta emisión tales como el manejo del estiércol de los animales presentes, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en suelos agrícolas y residuos de cosecha de plantas fijadoras de nitrógeno.

Los valores de las emisiones de N₂O están dados en TEC (Toneladas Equivalentes de Dióxido de Carbono), acorde al IPCC (2001), donde se considera que 1 t de N₂O es 310 veces más nociva a la atmósfera que 1 t de CO₂, por lo que se establecen las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ t (CO}_2\text{)} = 1 \text{ TEC}$$

$$1 \text{ t (N}_2\text{O)} = 310 \text{ TEC}$$

3.7. Procesamiento estadístico.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional STATGRAPHICS Plus versión 5.1 sobre Windows XP. Se aplicó ANOVA multivariado con la prueba de medias de Bonferroni a $p \leq 0.05$.

Para el secuestro de Carbono se aplicó un ajuste de curvas multivariadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Secuestro de Carbono por especies arbóreas.

Como resultado del diagnóstico de las especies arbóreas presentes en las fincas, se determinó la cantidad total de especies en cada una:

- Finca de Leandro Martín: 23 especies.
- Finca de Raúl Martín: 26 especies.
- Finca de Rubén Torres: 39 especies.

Se comprobó que solamente ocho especies arbóreas son comunes en las tres fincas (tabla 2).

Tabla 2. Especies comunes en las fincas.

Nombre vulgar	Nombre científico
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.
Almácigo	<i>Bursera simaruba</i> , Lin.
Ateje Rojo	<i>Cordia collococca</i> , Lin.
Caimitillo	<i>Chrysophyllum oliviforme</i> , Lin.
Guabán	<i>Trichilia hirta</i> , Lin.
Guásima	<i>Guazuma tomentosa</i> , H. B. K.
Mango	<i>Mangifera indica</i> , L.
Palma Real	<i>Roystonea regia</i> , O. F. Cook

Los resultados del análisis del secuestro de Carbono (tabla 3) muestran que existen diferencias significativas en cuanto a la retención de Carbono por especies. En los casos analizados, coinciden la Palma Real y el Mango entre las especies de mayor retención, las cuales mostraron diferencias estadísticamente significativas con el Aguacate, el Almácigo, el Caimitillo, el Guabán y el Ateje Rojo; excepto en el caso de la Guásima, que en la finca de Raúl también mostró valores de retención de Carbono muy altos. En estos resultados influyeron los factores altura y perímetro de la planta, los que están estrechamente relacionados con la edad.

Según Alegre *et al.* (2000), la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar Carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro y altura de los componentes arbóreos.

Ernst y Thomas (1999), señalaron que las plantaciones bien manejadas de Palmas secuestran más Carbono por unidad de área que los bosques tropicales y predijeron, que las plantaciones de Palmas se convertirán en una parte importante del manejo del secuestro de Carbono en el siglo XXI.

Tabla 3. Secuestro de Carbono promedio por planta ($t \text{ planta}^{-1}$) de las especies comunes, en las fincas de Rubén y Raúl.

Especie	Carbono Retenido en la Biomasa ($t \text{ planta}^{-1}$)			
	Finca de Rubén Torres	EE (\pm)	Finca de Raúl Martín	EE (\pm)
Aguacate	0,0609 d	0,0142	0,0319 c	0,0211
Almácigo	0,1463 c	0,0648	0,1617 b	0,0265
Ateje Rojo	0,5026 b	0,0679	0,2166 b	0,0511
Caimitillo	0,0365 d	0,0253	0,0352 c	0,0473
Guabán	0,0983 d	0,0759	0,0285 c	0,0511
Guásima	0,1203 c	0,1240	0,8191 a	0,0601
Mango	0,8182 a	0,0679	0,6437 a	0,0525
Palma Real	0,8108 a	0,0620	0,8481 a	0,0443

* Prueba de Bonferroni.

Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias estadísticas a $p \leq 0.05$.

La tabla 4 muestra el promedio de Carbono almacenado por planta de las ocho especies comunes en las tres fincas. De ellas, el Mango y la Palma Real fueron las que mayor cantidad de Carbono por planta retenido presentaron; muy influenciado por la mayor longevidad de sus individuos, lo cual condicionó superior altura y perímetro de los mismos.

Tabla 4. Retención de Carbono promedio por planta ($t \text{ planta}^{-1}$) de las especies comunes.

Especie	Carbono Retenido en la Biomasa ($t \text{ planta}^{-1}$)
Aguacate	0,1587 ef
Almácigo	0,2056 e
Ateje Rojo	0,3649 c
Caimitillo	0,0537 f
Guabán	0,0835 f
Guásima	0,3600 cd
Mango	0,6485 a
Palma Real	0,5546 ab
EE= \pm	0,03367

* Prueba de Bonferroni.

Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias estadísticas a $p \leq 0.05$.

En la tabla 5 se muestran los componentes de estimación y su dependencia con el secuestro de Carbono en la biomasa arbórea, donde la edad de las plantas determinó la retención en más de un 50%.

Tabla 5. Dependencia entre el Carbono retenido (t) en la biomasa arbórea y los componentes de estimación.

Ecuación de de estimación del Carbono (t).		
Carbono t = 0,1645 - 0,0009088*E - 0,003560*P - 0,03207*A + 0,0006452*A*P $\pm 0,003123$ $\pm 0,0001020$ $\pm -0,003559$ $\pm 0,0006154$ $\pm 0,000005560$ 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 + 0,0000279869*P ² P-Value = 0,0000 R ² = 99,72 %. $\pm 2,53611E-7$ E = Edad (años), P = Perímetro (cm), A = Altura (m) 0,0000		
Modelo de estimación del Carbono retenido (t)	Componentes de estimación	% de dependencia
	Edad (años)	54,89
	Perímetro (cm)	28,76
	Altura (m)	2,47
	Altura (m) *Perímetro (cm)	10,43
	Perímetro (cm) * Perímetro (cm)	3,45

- Procesamiento por ajuste de curvas multivariadas.

La ecuación representada en la tabla 5 muestra una estrecha relación entre edad, altura y perímetro como componentes lineales, y con altura x perímetro y perímetro x perímetro como componentes cuadráticos de la ecuación de secuestro de Carbono. El coeficiente de regresión de la misma es muy significativo (99.72 %), lo que demuestra la estrecha relación de los componentes evaluados con la retención de Carbono. Los componentes de estimación de mayor dependencia fueron la edad y el perímetro de la planta, seguido de las interacciones altura x perímetro, perímetro x perímetro y la altura.

Del análisis de retención de Carbono por la totalidad de plantas de todas las especies arbóreas presentes en cada finca, se encontró que el mayor secuestro de Carbono se presenta en la finca de Leandro Martín, con 154,18 t; seguido de las fincas de Raúl Martín y Rubén Torres, las que almacenaron en su biomasa una cantidad de 61,13 y 42,34 t respectivamente (figura 1). Los resultados obtenidos en las fincas de Raúl y

Rubén, a pesar de tener mayor diversidad de especies arbóreas que la finca de Leandro, se deben fundamentalmente a la menor cantidad de individuos de algunas especies, y a la menor edad en otras.

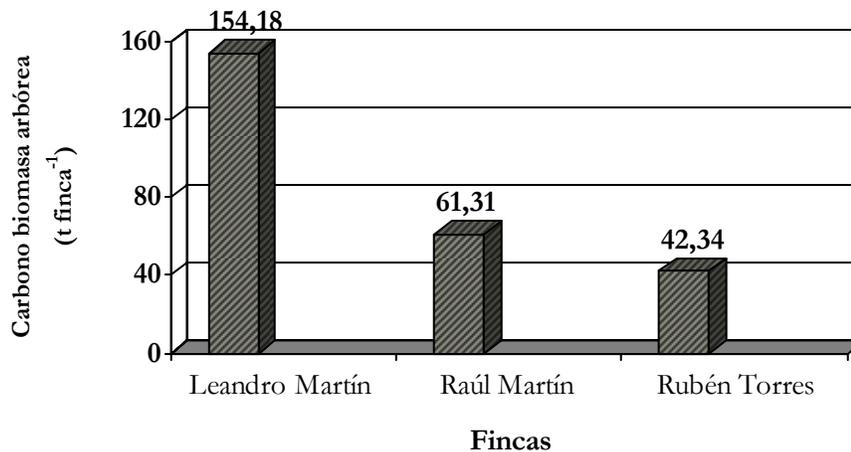


Figura 1. Retención de Carbono por la biomasa de todas las especies arbóreas encontradas en cada finca.

El conocimiento del ciclo global del CO₂ (anexo 6) constituye una herramienta indispensable para el manejo sostenible de los sumideros de Carbono en los bosques existentes, en los sistemas agroforestales y en las tierras agrícolas. El Carbono superficial de los ecosistemas forestales tropicales varía entre 25 y 250 t ha⁻¹. No obstante, la reducción de la deforestación y el incremento de las medidas para la protección de los bosques ofrecen una manera efectiva para reducir las emisiones de CO₂ (Kanninen, 1998).

4.2. Muestreo y clasificación de los suelos.

Se determinó que los suelos presentes en las tres fincas estudiadas son diferentes:

- 1- Finca de Leandro: suelo Fluvisol Mullido Carbonatado.
- 2- Finca de Raúl: suelo Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico.
- 3- Finca de Rubén: suelo Pardo Sialítico Pardo Mullido Sin carbonatos.

Esta diversidad de tipos de suelos enriquecen los resultados del trabajo desarrollado, al poderse analizar la influencia sobre las propiedades del suelo, de similares usos de la tierra, en diferentes condiciones edáficas.

4.3. Estudio de algunas propiedades físico-químicas de los suelos.

4.3.1. Contenido de materia orgánica.

En las tablas 6, 7 y 8 se observa que el contenido de materia orgánica (MO) en los seis perfiles estudiados, fue superior en áreas bajo cobertura de Mango respecto a las áreas de cultivos de rotación.

El contenido de MO fue superior en los tres horizontes A de los perfiles en que se encuentra este frutal, así como una mejor distribución de la misma en los horizontes B y C en relación con las áreas bajo cultivos de rotación.

Los resultados anteriores pueden atribuirse a que en los suelos bajo cultivos perennes se obtiene una mayor acumulación de residuos orgánicos, como hojarasca, ramas, restos de frutos, etc., los que en el proceso natural de descomposición constituyen la necromasa superficial, la cual contribuye al aumento del contenido de MO en la capa arable del suelo. También, las raíces de los árboles penetran a mayores profundidades, sobrepasando en ocasiones el horizonte B. Se coincide con Mejía *et al.* (2004), quienes plantean que el uso del suelo determina en gran medida la descomposición de la materia orgánica y por consiguiente el contenido de Carbono.

El contenido de MO en los diferentes horizontes A de las áreas destinadas a cultivos de rotación osciló entre 3.25 y 3.76 %, mientras que en los de los suelos bajo cobertura de Mango fluctuó entre 5.12 y 6.40 %. La tendencia general de evaluación para los niveles de MO fue de categoría Media en los suelos bajo cultivos de rotación, y categorías Alta y Muy Alta para los suelos bajo cultivo de Mango.

Los niveles de MO obtenidos en los suelos bajo cultivos de rotación son comparables con los señalados por Magdoff (1997) y Cairo y Fundora (2005) para suelos en similares condiciones de cultivo.

La MO disminuyó del horizonte A al C en los seis perfiles de suelo analizados, coincidiendo con lo planteado por Balesdent *et al.* (1987); Trouve *et al.* (1994) y Cairo y Fundora (2005).

4.3.2. Densidad aparente y porosidad total.

Los valores de densidad aparente y porosidad total de los suelos en las fincas estudiadas fueron variables, y guardaron relación con el contenido de materia orgánica y Carbono en cada perfil evaluado, estrechamente ligado al tipo de uso de la tierra. Se aprecia claramente que en los suelos de las áreas bajo plantaciones de Mango

establecidas por más de treinta años, se presentó una mayor porosidad total, condicionada por la menor densidad aparente de los mismos, la que estuvo influenciada por el mayor contenido de MO en estos suelos (tablas 7 y 8).

A excepción de la finca de Rubén Torres (tabla 6), se observa que en las áreas destinadas al cultivo de Mango por más de treinta años (Perfil 2) se presentan valores bajos de porosidad total y altos de densidad aparente, lo cual estuvo condicionado por el alto nivel de pedregosidad de este suelo en particular.

Según plantean Ingaramo *et al.* (2003) la densidad aparente del suelo es variable y está influenciada por múltiples factores, mientras que la densidad real es más ó menos constante para cada tipo de suelo.

En los diferentes perfiles de suelo evaluados, las categorías más favorables de Densidad Aparente y Porosidad total, se obtuvieron en las áreas cultivadas con Mango, debido a la estrecha relación de estas propiedades con el contenido de MO en el suelo, exceptuando la finca de Rubén, debido a la pedregosidad ya antes señalada.

Tabla 6. Propiedades físico-químicas analizadas al suelo Pardo Sialítico Pardo Mullido Sin carbonatos y categorías de evaluación. Finca de Rubén Torres.

Nº. Perfil	Áreas	Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad Aparente		Porosidad Total		Materia Orgánica		Carbono (%)
				g/cm ³	Categ.	%	Categ.	%	Categ.	
1	Cultivos de Rotac. > 30 años	A	0-20	1.12	Baja	60	Alta	3.76	Media	2.18
		B	21-50	1.17	Baja	58	Alta	0.72	Baja	0.42
		C	51-100	1.15	Baja	59	Alta	0.00	Baja	0.00
2	Frutales (Mango) > 30 años	A	0-20	1.59	Alta	43	Baja	5.17	Alta	3.00
		B	21-50	1.59	Alta	43	Baja	2.25	Media	1.31
		C	51-100	1.36	Media	51	Media	1.73	Baja	1.00

Tabla 7. Propiedades físico-químicas analizadas al suelo Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico y categorías de evaluación. Finca de Raúl Martín.

Nº. Perfil	Áreas	Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad Aparente		Porosidad Total		Materia Orgánica		Carbono (%)
				g/cm ³	Categ.	%	Categ.	%	Categ.	
1	Cultivos de Rotac. > 30 años	A	0-20	1.35	Media	49	Media	3.25	Media	1.89
		B	21-50	1.29	Media	51	Media	1.87	Baja	1.09
		C	51-100	1.28	Media	54	Media	0.22	Baja	0.13
2	Frutales (Mango) > 30 años	A	0-20	1.05	Baja	60	Alta	6.40	Muy Alta	3.71
		B	21-50	1.14	Baja	57	Alta	1.87	Baja	1.09
		C	51-100	1.33	Media	50	Media	0.22	Baja	0.13

Tabla 8. Propiedades físico-químicas analizadas al suelo Fluvisol Mullido Carbonatado y categorías de evaluación. Finca de Leandro Martín.

Nº. Perfil	Áreas	Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad Aparente		Porosidad Total		Materia Orgánica		Carbono (%)
				g/cm ³	Categ.	%	Categ.	%	Categ.	
1	Cultivos de Rotac. > 30 años	A	0-20	1.17	Baja	58	Alta	3.35	Media	1.94
		B	21-50	1.38	Media	51	Media	2.66	Media	1.54
		C	51-100	1.53	Alta	45	Baja	1.87	Baja	1.09
2	Frutales (Mango) > 30 años	A	0-20	1.13	Baja	60	Alta	5.12	Alta	2.97
		B	21-50	1.22	Media	56	Alta	4.64	Alta	2.69
		C	51-100	1.03	Baja	63	Alta	0.43	Baja	0.25

En general, se observó diferencia entre las áreas que fueron sometidas a cultivos de rotación por más de treinta años con relación a las áreas bajo árboles de Mango por igual período, siendo las propiedades de los suelos de estas últimas las más favorables.

4.4. Estudio del contenido de Carbono almacenado en los suelos.

Los niveles de Carbono retenido en el suelo de las áreas bajo árboles de Mango (tabla 9) fueron superiores a los encontrados bajo cultivos de rotación, en cada tipo de suelo correspondiente a cada finca, lo cual está determinado por el contenido mayor de MO en estas áreas, según se mostró en el acápite 4.3.1. Sobresale la finca de Rubén

Torres con una acumulación de Carbono de 95.40 t ha^{-1} en la profundidad de 0-20 cm en el suelo del área bajo cultivo de Mango.

Ibrahim *et al.* (2005) plantearon que el potencial de retención de Carbono de los sistemas agroforestales puede variar entre 20 y 204 t ha^{-1} , estando la mayoría de este Carbono almacenado en el suelo.

Tabla 9. Niveles de Carbono retenido (t ha^{-1}) en tres profundidades diferentes de cada perfil de suelo estudiado.

Nº. Perfil	Fincas de:	Áreas	Profundidad (cm)	Carbono Retenido (t ha^{-1})
1	Rubén Torres	Cultivos de Rotación (> 30 años)	0-20	48.83
			0-50	74.00
			0-100	99.75
2	Rubén Torres	Frutales (Mango) (> 30 años)	0-20	95.40
			0-50	238.50
			0-100	270.81
3	Leandro Martín	Cultivos de Rotación (> 30 años)	0-20	45.40
			0-50	110.93
			0-100	206.71
4	Leandro Martín	Frutales (Mango) (> 30 años)	0-20	67.12
			0-50	166.26
			0-100	221.94
5	Raúl Martín.	Cultivos de Rotación (> 30 años)	0-20	51.03
			0-50	98.00
			0-100	134.93
6	Raúl Martín.	Frutales (Mango) (> 30 años)	0-20	77.91
			0-50	131.13
			0-100	191.88

4.5. Estimación de las emisiones de Metano por la fermentación entérica del ganado bovino, el manejo del estiércol porcino y el cultivo de arroz en aniego.

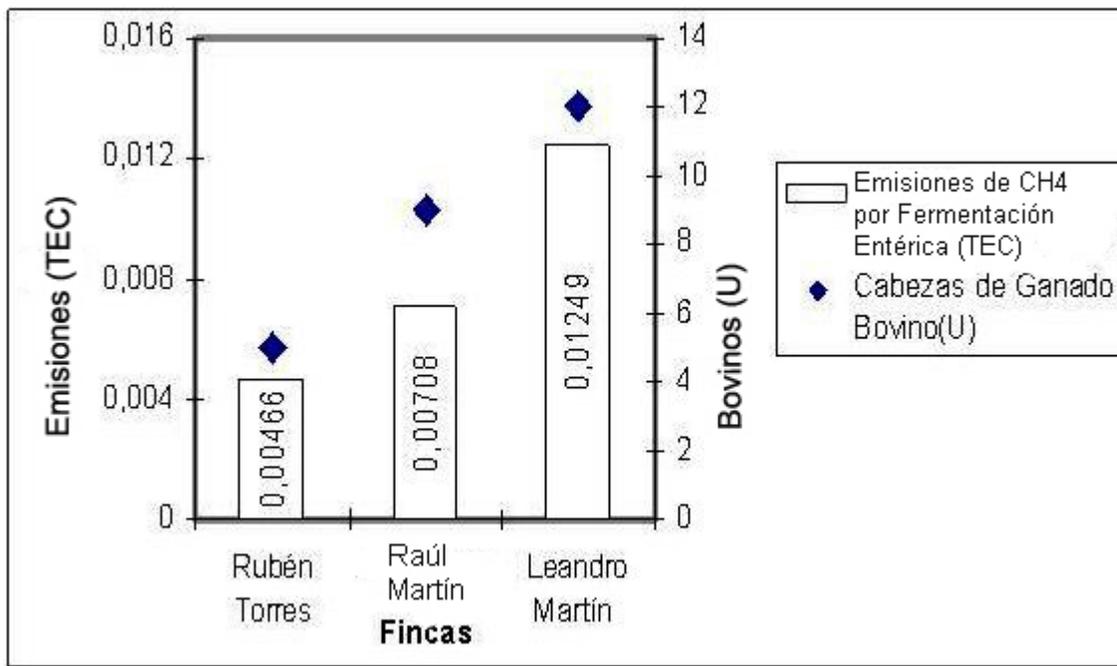


Figura 2. Emisiones de Metano por fermentación entérica del ganado bovino.

La producción de Metano es parte de los procesos digestivos del ganado bovino, siendo responsable la fermentación entérica de un 30 % de las emisiones antropogénicas de este gas a nivel mundial (anexo 7). Dentro de las fincas evaluadas la de mayor producción de este gas fue la de Leandro Martín con 0,01249 TEC, (figura 2). Estos valores están en estrecha relación con el número de bovinos presentes en las fincas, observándose que a mayor número de bovinos se incrementa la emisión de Metano. Los resultados alcanzados en esta investigación coinciden con los planteados por Vargas *et al.* (2008) y Berra y Finster (2003).

Otros factores que influyen sobre la emisión de este gas son la categoría del animal y la calidad o tipo de alimento consumido. Un animal de menor categoría consume menor cantidad de alimento y el volumen de producción de CH₄ a nivel ruminal decrece con respecto a categorías superiores. En cuanto a la calidad del alimento consumido, a mayor contenido de celulosa en la ración, mayor es la producción del gas y por consiguiente su emisión. En nuestro caso todos los animales estudiados poseían la misma fuente de alimentación, pasto natural. El número de cabezas de ganado osciló

entre 12 y 5 por finca, correspondiendo el primer valor mencionado a la finca de Leandro Martín (mayor emisora de CH₄) y el segundo a la finca de Rubén Torres, cuantificándose para la finca de Raúl Martín 9 cabezas.

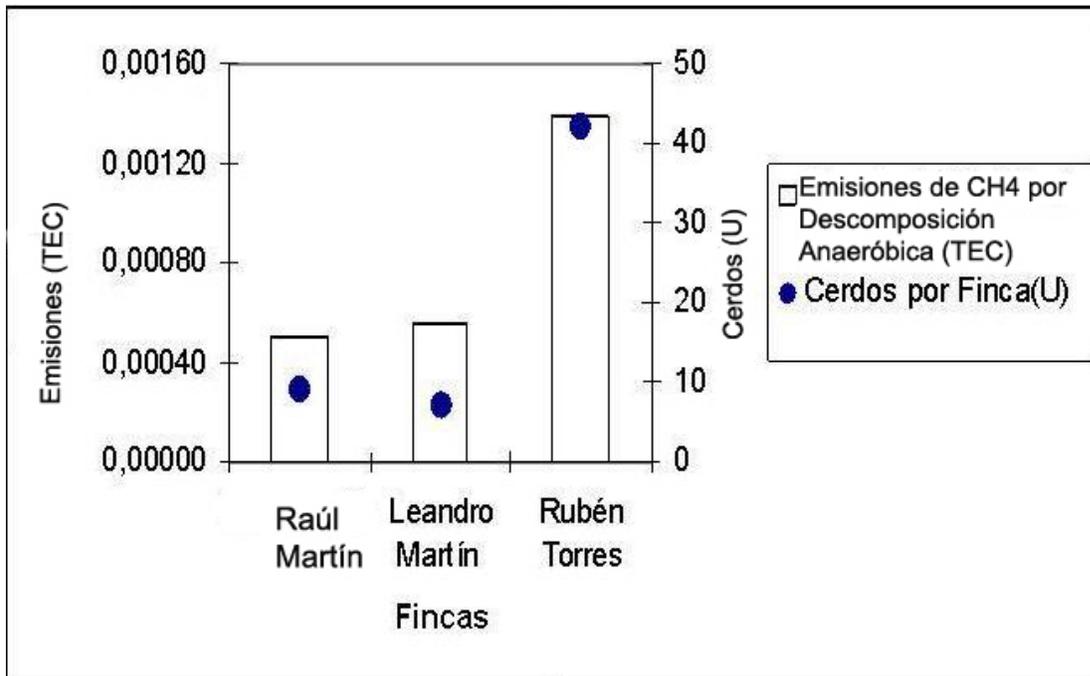


Figura 3. Emisiones de Metano por la descomposición anaeróbica del estiércol del ganado porcino.

Al observar los datos de las emisiones de Metano producto la descomposición anaeróbica del estiércol porcino, se percibe una notable diferencia entre las fincas de Leandro y Raúl Martín con respecto a la de Rubén Torres, y existe una tendencia a incrementarse la producción de este gas cuando el número de cerdos por predio aumenta; aunque puede observarse que el número de cerdos en la finca de Leandro es menor en dos unidades respecto a la de Raúl, sin embargo la emisión de CH₄ es superior en 0,00005 TEC (figura 3). Esto se debe a la influencia del peso de los animales sobre la cantidad de heces producidas.

Los mayores valores de emisión de CH₄ (0,00139 TEC) fueron en la finca de Rubén Torres, dado por la existencia de 42 cerdos estabulados en cochiguera, donde todos sus residuos fueron tratados en lagunas anaeróbicas, condición propicia esta para la producción de Metano. En las fincas de Leandro y Raúl, de igual forma había cerdos confinados, 7 y 9 respectivamente, y sus residuos también se trataron en forma líquida.

En las tres fincas existían otras fuentes de producción de estiércol por especies animales, pero el destino de sus excretas no fue a la descomposición anaeróbica, sino el almacenamiento en pilas al aire libre en el caso aves y conejos; y aproximadamente la mitad de los residuos de los bovinos, equinos y ovinos por estar estabulados 12 horas al día en corraletas, y en las otras 12 horas restantes las heces tuvieron como destino el esparcimiento en pastizales según los movimientos de los animales al pastar. Tanto el almacenamiento en pilas como el esparcimiento diario de las excretas en los pastizales fueron prácticas donde la producción de Metano fue casi nula, acorde a lo señalado por Berra y Finster (2003), quienes plantean que el Metano se produce mediante la descomposición anaeróbica del estiércol (por ejemplo, en forma líquida en lagunas, tanques o fosas); pero cuando el estiércol se maneja en forma sólida (por ejemplo, almacenamiento en pilas, o queda depositado sobre las pasturas y los campos naturales), tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de Metano.

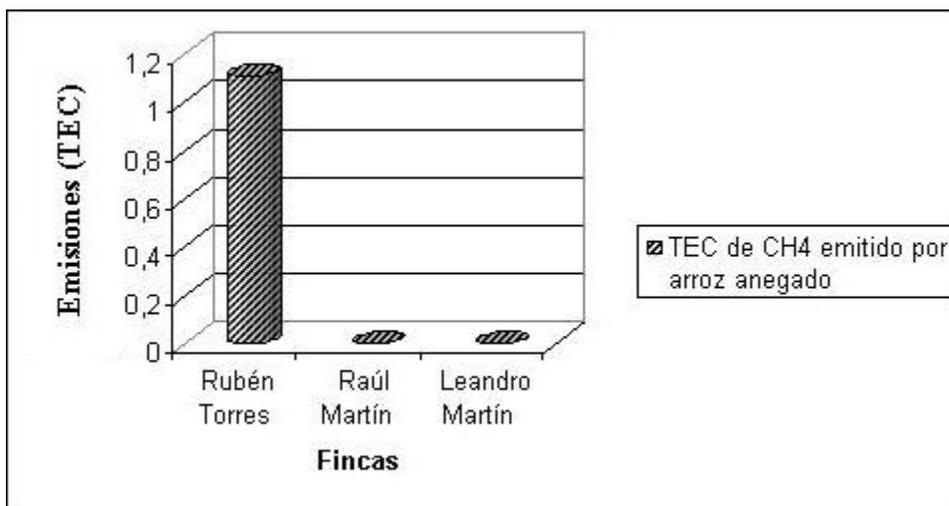


Figura 4. Metano emitido por la producción de arroz en aniego.

El cultivo de arroz en aniego es uno de los factores que dentro de la agricultura genera los mayores volúmenes de gas Metano por unidad de área (ver anexo 7). La finca donde se reportó emisión de CH_4 por esta causa fue la de Rubén Torres, con 1.1088 TEC, siendo esta la única productora de este cereal dentro de las fincas evaluadas, con un área cultivada de 1 ha. En este caso, un elemento que contribuyó a este valor de emisión fue la anaerobiosis prolongada durante todo el ciclo del cultivo, lo cual implicó

una descomposición de grandes volúmenes de materia orgánica que quedaron debajo de la lámina de agua de los diques. Situaciones similares han sido reportadas por Vargas *et al.* (2009) y Ríos *et al.* (2009).

4.6. Estimación de las emisiones de Óxido Di nitroso por manejo del estiércol, aplicación de fertilizantes nitrogenados y residuos de cosecha de plantas fijadoras de nitrógeno.

El manejo del estiércol dentro de las fincas es una de las vías que contribuyen a la producción y emisión de Óxido Di nitroso, este se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico presente en el estiércol y en la orina del ganado. La rama agropecuaria constituye a nivel mundial la fuente de mayor emisión de este gas (ver anexo 8). Las fincas que presentaron mayores emisiones de este gas como causa del manejo del estiércol fueron la de Leandro Martín y la de Rubén Torres (tabla 10). Esto se debió fundamentalmente al número de animales dentro de las fincas (tabla 11) de los cuales se almacenaba en pilas una parte de sus heces y otra se esparcía en las áreas de pastoreo. Otros factores que influyen sustancialmente sobre la producción de este gas son el tipo de especie presente y su edad o categoría. Criterios similares los plantearon Berra y Finster (2003).

Las emisiones de N_2O en los suelos agrícolas de las fincas evaluadas se debió fundamentalmente a dos factores: la aplicación de fertilizantes nitrogenados y la descomposición de residuos de cosecha de cultivos fijadores de nitrógeno. Las fincas que mayor contenido Óxido Di nitroso emitieron fueron la de Raúl Martín y la de Rubén Torres (tabla. 10). Con relación a estos resultados, podemos afirmar que en los sistemas agrícolas evaluados la aplicación de fertilizantes nitrogenados tuvo variaciones, registrándose entre 0.0 y 331.2 kg de nitrógeno para las fincas de Leandro y Raúl Martín respectivamente, y 135 kg para la finca de Rubén Torres.

En cuanto al nitrógeno fijado por finca, producto de los cultivos fijadores de este elemento, se reportaron valores entre 41.17 y 155.12 kg para Leandro y Raúl Martín respectivamente y 145.34 kg para Rubén Torres.

Observando la tabla 10, en la columna de suelos agrícolas, se puede afirmar que la emisión de N_2O está fuertemente influenciada por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, ya que una gran parte de este agroquímico se volatiliza y va a la atmósfera como N_2O . Criterios similares fueron planteados por Louro *et al.* (2008),

coincidiendo que en los sistemas intensivos de producción agrícola, con elevadas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, pueden ser una fuente importante de gases de efecto invernadero como el Óxido Di nitroso (N_2O).

Tabla 10. Óxido Di nitroso emitido producto del manejo del estiércol y suelos agrícolas.

Fincas	Manejo del estiércol (TEC)	Suelos Agrícolas N_2O (TEC)
Raúl Martín	0,0005	4,5218
Leandro Martín	0,0048	0,4287
Rubén Torres	0,0043	2,3611

Tabla 11. Especies de animales presentes en las fincas que contribuyen a la emisión de N_2O y su número de individuos.

Especies	Nº de Individuos. Finca Raúl Martín	Nº de Individuos. Finca Leandro Martín	Nº de Individuos. Finca Rubén Torres
Bovinos	9	12	5
Ovinos	-	26	3
Equinos	2	-	-
Conejos	-	6	-
Aves de Corral	14	68	55

5. CONCLUSIONES

Sobre la base del análisis de los resultados obtenidos, pueden formularse las siguientes conclusiones:

- 1- De las especies estudiadas, el Mango y la Palma Real fueron las de mayor retención promedio de Carbono por individuo, con valores de 0,648 y 0,554 t respectivamente.
- 2- El secuestro de Carbono por la biomasa de especies arbóreas en las fincas estudiadas presentó niveles muy diversos, estimándose la mayor retención en la finca de Leandro con 154.18 t; y valores muy inferiores en las de Raúl y Rubén con 61.31 t y 42.34 t respectivamente.
- 3- Los componentes de estimación del secuestro de Carbono de mayor dependencia fueron: la edad (54.89 %) y el perímetro de la planta (28.76 %); y en menor cuantía las interacciones altura x perímetro (10.43 %) y perímetro x perímetro (3.45), así como la altura (2.47 %).
- 4- Las áreas de mayor contenido de Carbono almacenado en el suelo fueron las dedicadas al cultivo de Mango por más de treinta años, las que muestran las mejores categorías de evaluación con respecto a la materia orgánica, densidad aparente y porosidad total, exceptuando la finca de Rubén Torres por presentar mayor nivel de pedregosidad, lo cual altera los valores de densidad aparente y porosidad total.
- 5- Las emisiones de Metano estimadas fueron inferiores a las de Óxido Di nitroso en las tres fincas, y las principales fuentes de emisión de CH₄ fueron la fermentación entérica del ganado bovino, la descomposición anaeróbica del estiércol porcino y el cultivo de arroz en aniego; mientras que la principal fuente de emisión de N₂O fue la fertilización nitrogenada.

6. RECOMENDACIONES

- 1- Forestar tanto como sea posible los sistemas productivos, contemplando las especies de Mango y Palma Real.
- 2- Ampliar el estudio a mayor número de especies de interés agrícola o forestal y en otras formas de uso o manejo de la tierra.
- 3- Fomentar la construcción de biodigestores con el objetivo de utilizar, como portador energético, el gas Metano generado por los residuos de las fincas.
- 4- Disminuir el tiempo de aniego en el cultivo del arroz, tanto como sea posible, para reducir las emisiones de Metano.
- 5- Sustituir en lo posible la aplicación de fertilizantes nitrogenados por orgánicos dentro de las fincas, para reducir la emisión de Óxido Di nitroso.
- 6- Extender a mayores áreas agrícolas, estudios similares a los expuestos en esta tesis.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Adams, G.A. y Wall, D.H. 2000. Biodiversity above and below the surface of soils and sediments: Linkages and implications for global change. *Bioscience*, 50, 1043–1048.
2. Alegre, J., Ricse, A., Arévalo, L., Barbarán J. y Palm, C. 2000. Reservas de Carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
3. Alfonso, I. y Carrobello, C. 2002. Una mirada hacia abajo. *Revista Bohemia* .No 13. p. 24-32.
4. Alvarado, Nancy. 2009. Estado de la fertilidad del suelo y su manejo en el sector Agua Linda, parroquia Los Guasimitos, municipio Obispos, estado Barinas. Tesis presentada en opción al título académico de master en desarrollo agrícola sostenible mención fitotecnia. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” Barinas Convenio Cuba – Venezuela.
5. Álvarez, A., Mercadet, Alicia., Ortiz, O. 2007. La economía ecológica vista en la retención y secuestro de carbono como una vía para mitigar el cambio climático en el sector forestal. En: 4to Congreso Forestal de Cuba, Palacio de Las Convenciones. La Habana. Memorias. CD-ROM. ISBN 978-959-282-048-7.
6. Amador, M. Castro, J. y Rodríguez, G. 2007. Evaluación de Fincas en Costa Rica. Seminario Internacional Calentamiento Global y agricultura Ecológica. Bullas, Murcia, España. En página Web: <http://www.climaagroecologico.org>. Consultado 10-01-2010.
7. Ascanio, N. 2004. Reseña del uso y manejo agroecológico de los suelos, situación actual. En página Web: www.gacicuba.net . Consultado: 5-12-08.
8. Balesdent, L., Mariotti, A.y Guillet, B. 1987. Natural ¹³C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, p. 25-30.
9. Baver, L. D., Gardner, W. H. y Gardner, W. R. 1973. Física de suelos. Limusa. 204 p.

10. Benítez, J.R. 2004. Manejo Integrado del Suelo y Agua para un desarrollo agrícola sostenible en América Latina. Revista de Agroecología, LEISA. Editorial LEISA. Lima Perú. Vol.19, No 4. p. 4-5.
11. Berra, G. y Finster, Laura. 2003. Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Influencia de la ganadería argentina. En página Web: <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/carne/carneo03.pdf>. Consultado:6-07-2010
12. Boukhari, Sophie. 1999. Los bosques podrían cumplir un papel decisivo en la lucha contra el efecto de invernadero. En página Web: <http://www.unesco.org/courier/1999>. Consultado: 15-09-2009.
13. Bretscher, D. 2005. "Gases con Efecto Invernadero y Agricultura Orgánica". Proyecto de Investigación. San José, Costa Rica, 2005. Disponible en página Web: www.cedeco.or.cr/investigacion . Consultado: 4-04-09.
14. Brown, P., Cabarle, B., Livernash, R. 1997. Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. Estados Unidos, World Resources Institute. 25 p.
15. Brown, S. 1996: Influencia de los bosques. Revista Unasylyva. Volumen 47. No. 185. p. 3-10.
16. Cairo, P. y Fundora, O. 2005. Edafología, primera parte. Editorial Félix Varela. La Habana. 476p.
17. Cairo, P. 2006. Edafología práctica. Memoria magnética. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu de Las Villas". 200p.
18. Castro, J. y Amador, M. 2006. Emisión de gases con efecto invernadero y agricultura orgánica. Enfoque metodológico: emisión de gases de efecto invernadero, la fijación de Carbono y la agricultura orgánica. Costa Rica.
19. Castro, J., y Amador, M. 2007. Emisión de gases de efecto invernadero y agricultura orgánica. Consultado 12 de febrero, 2008, En página Web: <http://www.cedeco.or.cr/investigacion.htm>. Consultado: 25-07-2009.
20. Castro G. 2009. Los bosques y el cambio climático. Declaración de Heredia. Clima, bosques y plantaciones. Heredia, 28 de marzo de 2009. En página Web: <http://www.otrosmundoschiapas.org/>. Consultado 15-09-2009.

21. Ciclo del carbono (ecología). *Microsoft® Encarta® 2006* [DVD]. Microsoft Corporation, 2005. Consultado: 28-02-2009.
22. De La Vega, J. A. 2000. Calentamiento global - captura de carbono. En página Web: <http://www.ecoport.net/content/view/full/69505>. Consultado: 20-08-2009.
23. Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C. y Wisniewski, J. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems, en *Science magazine*, Vol. 263, no. 5144, 1994.
24. Doran, J.W. y Parkin, T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, eds., Soil Sci. Soc. Amer.: Madison, Wis., 3-21.
25. Duxbury J.M. 1995. The Significance of Greenhouse Gas Emissions from Soils of Tropical Agroecosystems. In: *Advances in Soil Science: Soil Management and Greenhouse Effect*, Ed. R. Lal, 1995; p. 279-291.
26. Ernst, W.M. y Thomas H. 1999. Oil Palm – The Great Crop of South East Asia: Potential, Nutrition and Management. Conference for Asia and the Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia, 14-17 November.
27. Estela, L.B. 2010. El cambio climático: sus orígenes, los impactos potenciales, las medidas de mitigación y adaptación mas apropiadas. *Revista electrónica de veterinaria*. ISSN 1695-7504. Volumen 11. Número 03B. En página Web: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>. Consultado (22-04-2011).
28. FAO, 2000. Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal en América Latina y El Caribe. En página Web: <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y2780E/y2780e00.htm>.
29. FAO, 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. En página Web: <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=FAO+2002%2B+carbono&ots=5xFhDsvuR9&sig=KyqX7QOng80Abvb2C90vMnR71ul#v=onepage&q=FAO%202002%2B%20carbono&f=false>. Consultado 08-06-2010.
30. Fearnside, P.M. 2000. El cambio climático y los bosques. Disponible en: <http://www.cambio-climatico.com/el-cambio-climatico-y-los-bosques-en-el-dia-mundial-forestal>. Consultado 08-04-09.
31. Gavande, S. A. 1976. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Limusa. 94-97p.

32. Google Earth. 2009. En página Web: <http://earth.google.es/> . Consultado: 11-06-09.
33. Granada, P. 2005. Cuaderno "Sumideros de Carbono en los Andes Ecuatorianos", Colección del WRM sobre plantaciones. No.1, Montevideo, Uruguay, 2005.
34. Guerrero, V. 1999. Fertilidad, Conservación y Manejo del suelo .Manual para promotores comunitarios. Centro de Capacitación Femenina.
35. Hernández, A., Ascanio, M. O., Morales, Marisol. y León, A. 2006. La historia de la clasificación de los suelos en Cuba. Editorial Felix Varela. La Habana.Cuba. 98 p.
36. Hernández, A., Morales, Marisol., Morell, F., Borges, Yenia., Moreno, Irene., Ríos, H. y Vargas, Dania. 2007. Algunos resultados sobre las pérdidas de Carbono en ecosistemas con suelos Ferralíticos rojos lixiviados en clima tropical subhúmedo de Cuba. Cultivos Tropicales, 2007, vol. 28, no. 3, p. 55-60.
37. Houhgtton, R.A., Skole, D.L. y Lefkowitz, D.S. 1991. Changes in landscape of Latin America between 1850 and 1985, 2: Net release of CO₂ to the atmosphere. Revista Forest Ecology and Management No. 38.
38. Ibrahim, M., Chacón, M., Mora, J., Zamora, S., Gobbi, J., Llanderal, T., Harvey, A., Murgueitio, E., Casasola, F., Villanueva, C., Ramírez, E. 2005. Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. In Henry A.Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series, "Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape" (4, Costa Rica, 2005).
39. Ingaramo, O.E., Paz, A. y Dugo, M. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreo de suelo, en el NO de la Península Ibérica. En página Web: <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/05-Agrarias/A-032.pdf>. Consultado: 14-06-09.
40. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Ciudad de México, MX.
41. IPCC, 2000. Methodological and Technical Issues in Technology Transfer. A Special Report of IPCC Working Group III [Metz, B., O.R. Davidson, J.-W. Martens, S.N.M. van Rooijen, y L. van Wie McGrory (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos, 466 pág.

42. IPCC, 2001. Tercer informe de Evaluación. Cambio climático 2001. La base científica. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Informe del grupo de trabajo I del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
43. IPCC, 2005. Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. ISBN: 92-9169-300-6. 1996. Consultado noviembre del 2008. Disponible en www.ipcc.ch. Consultado : 12-05-2010.
44. IPCC, 2005 b. Tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero. En página Web: www.ipcc.ch. Consultado : 12-05-2010.
45. Jaimez, E., Campos, M., García, A., Guerra, M., Gutiérrez, Betty., Acosta, J., Villariño, J., Pacheco, E., Alcaide, J., Fleita, R. 2008. Diagnóstico ambiental e interpretación paleoambiental de los suelos de las provincias habaneras, Cuba. En página Web: http://www.iga.cu/Revista/cte_05/descargas/Diagn%C3%B3stico%20Suelos%20Habana%20Efren.pdf. Consultado: 26-06-09.
46. Jones, C.A. 1983. Effect of Soil Texture on Critical Bulk Density for Root Growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 47, p 1.208 – 1.211.
47. Kanninen, M. 1998. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En página Web: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4435S/y4435s09.htm>. Consultado: 26-07-2010.
48. Konyushkov, D. Y. 1998. Geochemical history of carbon on the planet: implications for soil carbon studies. Soil processes and the carbon cycle. R. Lal, Kimble, K.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. USA, CRC Press: 293 p.
49. Lal, R., Kimble, K.M., Follett, R.F., y Stewart, B.A. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press: 1-8. USA.
50. Lapeyre, *et al.*, 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. En: Ecología Aplicada, 3(1,2).
51. Louro, A., Baéz, D., García, M. I., Castro, J. 2008. Emisiones de Óxido Di nitroso en un suelo cultivado con maíz tras el aporte de distintos tipos de fertilizantes. En página Web: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:F742ahh->

- CMJ:www.ciam.es/descargas/publicaciones/10-24.pdf+oxido+nitroso%2Bemisiones+%2B+fincas+agr%C3%ADcolas&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=es. Consultado 7-07-2010.
52. Lupi, Ana María., R, Fernández. y Conti, Marta. 2002. Calidad del Suelo como Respuesta a la Aplicación de Prácticas de Implantación Forestal – 2002. Disponible en: <http://elsitioagricola.com/>. Consultado 17 -05- 2009.
53. MacKenzie, J. 2001. Thinking long term: Confronting global climate change. World Resources Institute. En página Web: <http://www.wri.org/climate/longterm/index.html>. Consultado: 12-06-2010.
54. Magdoff, F. 1997. "Calidad y manejo del suelo" Bases Científicas para una Agricultura Sustentable. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y desarrollo. Grupo Gestor Cubana de Agricultura Orgánica. La Habana. Cuba 211pp.
55. Maser, O. 1995. México y el cambio climático global: El papel de la eficiencia energética y alternativas de manejo forestal en la reducción de emisiones de bióxido de carbono». En: Juan J. Jardón (ed.). Energía y medio ambiente: Una perspectiva económico-social. Plaza y Valdés Editores, México, pp 157-177.
56. Mejía, S., Gómez, A., Etchevers, J., Ángeles, G., López, M. y Horwath, W. 2004. Acumulación de Carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de pinus michoacana.
57. Mercadet, Alicia. y Álvares, A. 2005. Metodología para el cálculo de Carbono. Informe final del subproyecto 11.25.03, del informe final del proyecto "Cambio Climático y el Sector Forestal Cubano": segunda aproximación.
58. Methane to Markets, 2008. Emisiones mundiales de metano y oportunidades de atenuación. En página Web: http://www.methanetomarkets.org/documents/methane_analysis_fs_spa.pdf
Consultado: 7-11-2010
59. Moga, O. E. 2007. Estudio sobre la mitigación de cambio climático por los bosques de la empresa forestal integral Bayamo. En: 4to Congreso Forestal de Cuba, Palacio de Las Convenciones. La Habana. Memorias. CD-ROM. ISBN 978-959-282-048-7.

60. PNUMA, y OMM. 2005. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. En página Web: <http://www.ipcc.ch>. Consultado: 15-09-2009.
61. Ríos, H., Vargas, Dania., Miranda, Sandra., Funes, F. y García, E. 2006. Proyecto "Fitomejoramiento Participativo Fase II, Programa para Fortalecer la Innovación Agrícola Local", INCA.
62. Ríos, H., Miranda, Sandra., Vargas, Dania. 2009. ¡El mundo está caliente! ¿Cómo lo enfriamos desde la agricultura? LEISA revista de agroecología , 24.4 ,Marzo 2009. p 9-11.
63. Schlesinger, W. H. 1995. Soil respiration and changes in soil carbon stocks. pp. 159-168. In G.M. Woodwell and F.T. Mackenzie (eds.). Biotic Feedbacks in the Global Climate System, Oxford University Press, Oxford.
64. Smith, P. 1993. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México.
65. Trouve, C., Mariotti, A. Schwartz, D. y Guillet, B. 1994. Soil organic carbon dynamics under Eucalyptus and Pinus planted on savannas in the Congo. Soil Biol. Biochem. 26(2): 287-295.
66. Vargas, Dania., Miranda, Sandra., Ríos, H., Valentín, P., Mercadet, Alicia., Funes, F. y García, E. 2008. Estudio de la diversidad agrícola y la emisión de Gases Efecto Invernadero en fincas orgánicas, en transición y convencionales. En: Congreso Científico del INCA (16: 2008, nov 24 -28, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008. ISBN 978-959-16-0953-3.
67. Vargas, Dania., Miranda, Sandra., Marantes, Francy., Rodríguez, J., Rodríguez, P. 2009. Estudio de diversidad agrícola en fincas de La Habana. Cultivos Tropicales, 2009, vol. 30, no. 2, p. 35-42.

8. ANEXOS

Anexo 1. Categorías de evaluación de los niveles de Materia Orgánica (MO).

M. O (%)	Categoría
< 2	Bajo
2 a 4	Medio
4.1 a 6	Alto
> 6	Muy Alto

Fuente: Cairo 2006.

Anexo 2. Categorías de evaluación de los niveles de Porosidad total (Pt).

Pt (% de vol.)	Categoría
< 40	Muy Baja
40-45	Baja
46-55	Media
56-65	Alta
> 65	Muy Alta

Fuente: Cairo 2006.

Anexo 3. Categorías de evaluación de los niveles de Densidad Aparente (DA).

DA (g/cm³)	Categoría
< 1	Muy Baja
1-1.20	Baja
1.21-1.45	Media
1.46-1.60	Alta
>1.60	Muy Alta

Fuente: Cairo, 2006.

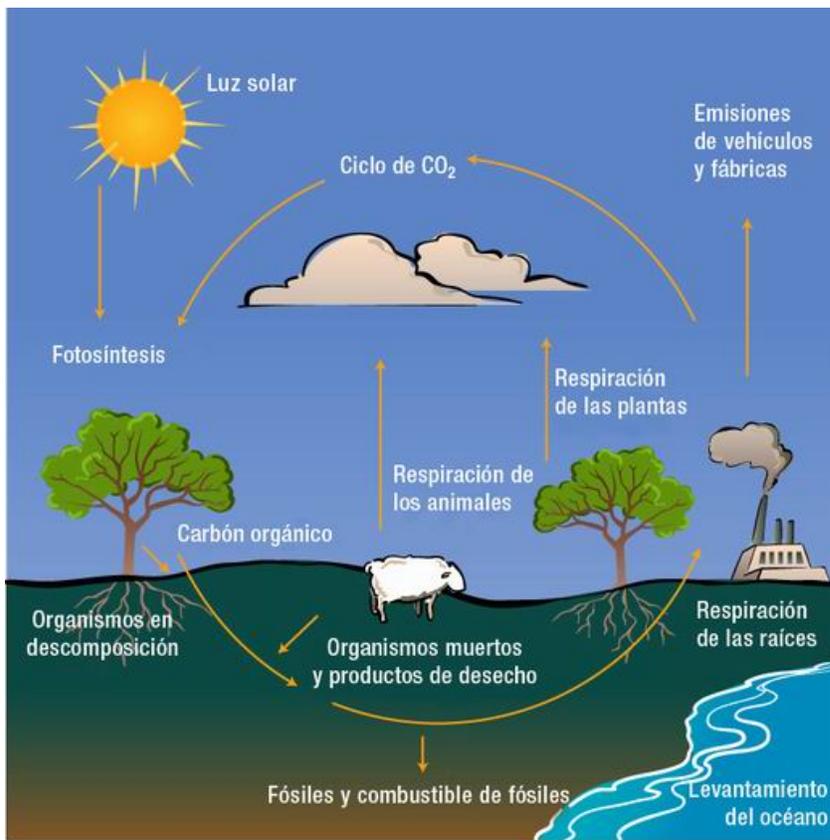


Anexo 4. Calicata de 1 x 1 x 1 m en suelo Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico.

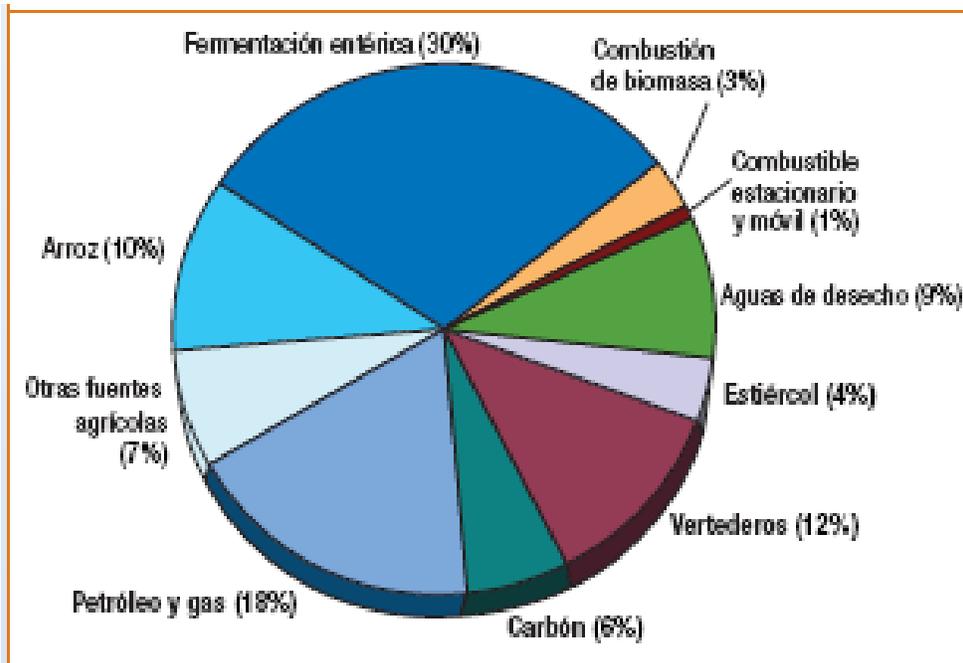
Fuente: El autor.



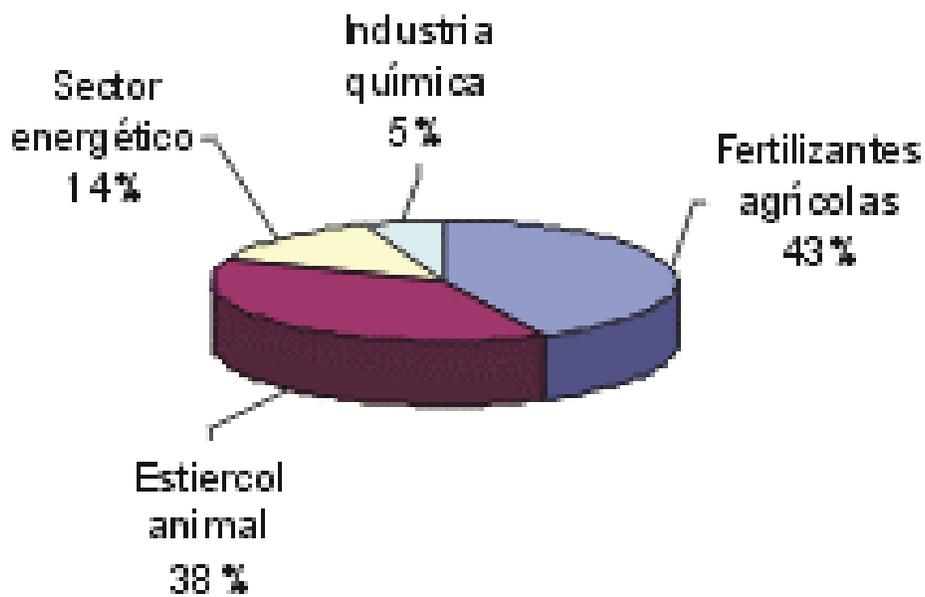
Anexo 5. Cilindro de 244 cm³ para la toma de muestras del suelo.
Fuente: El autor.



Anexo 6. Ciclo global del CO₂.
Fuente: Microsoft® Encarta® 2006 [DVD].



Anexo 7. Estimado de emisiones mundiales de Metano antropogénico.
Fuente: Methane to Markets, 2008.



Anexo 8. Origen de emisiones mundiales de N₂O.
Fuente: MacKenzie, J. 2001