

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
*Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las
plantas*

**Degradación de las propiedades
agrobiológicas de los suelos
Ferralíticos Rojos Lixiviados por la
influencia antrópica y su respuesta
agroproductiva al mejoramiento**

Tesis para optar por el título académico de Master
en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes

Aspirante: Ing. Fernando Morell Planes
Tutores: Dr. C. Alberto Hernández Jiménez
Dr. C. Félix Fernández Martín

La Habana, 2006

Dedicatoria

- ❖ *A la Revolución Cubana por haberme posibilitado llegar hasta aquí, y ser el profesional que soy hoy en día.*
- ❖ *A mis padres por haberme sabido guiar a través de la vida y por encontrar siempre en ellos el apoyo necesario para seguir adelante.*
- ❖ *A mi hermano y mi abuela por formar parte de mi vida y estar presentes en mí en todo momento.*
- ❖ *A mi novia por brindarme todo su amor y cariño, sin el cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo*

Agradecimientos

Quiero expresar un profundo agradecimiento a un grupo de personas y amigos allegados que han contribuido de manera decisiva a la preparación de este trabajo y a mi formación profesional, de los cuales me considero deudor, no solo por su amable estímulo o por la merecida crítica en el momento oportuno, sino también por la visión y el conocimiento que fueron capaces de brindar.

- Agradezco primeramente a mi tutor, el Dr. Alberto Hernández, que además de ser un magnífico tutor, supo ser gran amigo, brindándome no solo su amplio conocimiento, sino también su confianza y sabios consejos, sin los cuales este trabajo no hubiera culminado satisfactoriamente.*
- A mi segundo tutor el Dr. Félix Fernández, por toda su ayuda y conocimiento que me brindó durante este tiempo*
- A todos los amigos del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas que me han dado un lugar y han logrado hacerme sentir uno más dentro de su colectivo.*
- Al Dr. Nicolás Medina, el cual con sus oportunos regaños supo brindarme su ayuda y apoyo incondicional, aspecto que fue crucial en el desarrollo de este trabajo.*
- Al Dr. Mario Varela el cual jugó un papel importante y decisivo en este trabajo.*
- A todos los compañeros del laboratorio de análisis químico del departamento, a Tomás, Roxana, Caruncho, Dainé, los que con un trabajo impecable supieron ayudarme.*
- A los compañeros del laboratorio de micorrizas, especialmente a Julio, Aracelis, Yakelín, Laura y Liatne, los cuales me ayudaron mucho, e incluso soportaron mi insistencia en varias ocasiones.*

- *A todos los técnicos del departamento, a Herminio, Reinerio, Carlos Javier, Iliat, a todos en general por el gran apoyo que me brindaron.*
- *A la MC. Gloria Martín, por haberme apoyado y ayudado en todo momento.*
- *A Luís Roberto, primeramente, por haber sido mi amigo incondicional, y por haberme apoyado en todo.*
- *A Michel Martínez, por su ayuda y amistad durante muchos años.*
- *Al Dr. Víctor Paneque, por todo el conocimiento que me brindó.*
- *A mi querido Calaña, por ayudarme y brindarme su apoyo.*
- *A Calderón y todo su grupo de trabajo.*
- *A Juvenal y Riquildo por todo su esfuerzo y dedicación.*
- *A Dancy, Rolando y Rolito, los cuales son mi segunda familia.*
- *Un agradecimiento especial para mi novia Yuselín Toledo, por haberme dado su amor y cariño incondicional, sin el cual no hubiera podido realizar este trabajo y haber soportado todas mis malacrianzas todo este tiempo.*
- *Sin que me quede nadie excluido. A todos. Gracias.*

RESUMEN

En el trabajo se exponen los principales resultados de la caracterización agrobiológica de los suelos, que se aplican a los Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL), presentes en la provincia Habana. Sobre la base del estudio de 10 perfiles de los suelos FRL en diferentes formas de uso de la tierra (desde suelos bajo arboleda permanente de ficus, suelos bajo frutales de 30 años o más, hasta suelos bajo cultivos intensivos de más de 30 años), se determinaron los cambios que ocurren en las propiedades de este tipo de suelo, principalmente por el color, estructura, contenido en materia orgánica, factor de dispersión, densidad aparente, así como una caracterización biológica de los mismos, determinando aspectos como microbiota total, conteo de esporas endémicas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), conteo de micelio, peso del endófito, densidad visual, % infección y determinación de glomalina. Se demostró la estrecha relación entre el estado de conservación del suelo en cada caso con el estado estructural de los mismos, así como la diversidad biológica presente en los suelos, presentando mayores valores en todos los aspectos evaluados en los suelos mas conservados, disminuyendo progresivamente hacia los suelos mas degradados producto de la influencia antrópica.

I. INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo pasado, se viene prestando gran atención al problema de la degradación de los suelos en el mundo y sobre todo en las regiones tropicales debido a que los procesos ocurren en forma más enérgica como resultado del clima, la aplicación de tecnologías sofisticadas con altos insumos en la agricultura y el subdesarrollo.

Así tenemos que en el año 1990, en el XIV Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, celebrado en Kyoto, Japón, los edafólogos holandeses, encabezados por Oldeman et al (1990), presentaron los resultados del proyecto GLASOD, donde expusieron que la degradación de los suelos en el mundo, en el período 1945-1990 había aumentado como promedio un 17%, contra un 6% en la primera mitad del siglo. Dentro de esto, para Centroamérica y el Caribe, incluyendo México, se registró el porcentaje mayor, que fue de 28%. Se planteó además que esto era debido principalmente al problema de la aplicación de la Revolución Verde o también llamada Revolución Científico Técnica en la agricultura.

Posterior a esto se celebra la Cumbre de Río en 1992, donde se evidencian los problemas del Cambio Global en la Naturaleza, surgiendo los problemas del acrecentamiento del efecto de invernadero, con el consabido calentamiento de la atmósfera, la degradación de los recursos naturales, la desertificación y los problemas de los Cambios Globales en los Suelos.

Autores como Ingram (1996), plantean que los Cambios Globales en los Suelos surgen como resultado de la degradación de las propiedades edafológicas debido a:

- Cambios en las propiedades en los suelos provocados por el cambio climático
- Cambios en las propiedades en los suelos provocados por la concentración de gases de efecto invernadero, sobre todo del CO₂
- Cambios en las propiedades en los suelos provocados por el Cambio de Uso de la Tierra.

Debe destacarse además que en los últimos 15-20 años se viene trabajando intensamente en incluir en las clasificaciones de los suelos los diagnósticos de la degradación de sus propiedades por la acción antrópica, incluso en cierta forma se le ha llamado “formación agrogénica de los suelos” (Shishov et al 2004; Tonkonogov y Guerasimova, 2005), como un factor nuevo en la formación de los suelos.

Dentro de esta problemática, se debe tener en cuenta que nuestro país es un ejemplo de influencia antrópica de regiones tropicales. Por una parte 4 siglos de explotación agrícola bajo el dominio colonial, que trae como resultado que en trabajos de principios de siglo, se planteara que ya las tierras de las regiones occidentales de Cuba, necesitaban del mejoramiento por abonos orgánicos y además la aplicación de rotación de cultivos, debido al uso intensivo de estos suelos por cultivos como el café, tabaco y caña de azúcar (Crawley 1916). Posteriormente se tuvo la etapa de desarrollo capitalista con una deforestación brutal en 59 años, que disminuyó el área de bosques en Cuba en 30 – 35%, debido a la explotación maderera de nuestros bosques y la expansión azucarera. Esta problemática está bien plasmada en el libro *The Soils of Cuba*, por los Drs. Norteamericanos Bennett y Allison en 1928.

Se debe señalar además que la política agrícola de altos insumos que se llevó a cabo en nuestro país en la etapa revolucionaria (1975-1990), con la aplicación de tecnologías como el riego, la mecanización, e incremento en la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Afortunadamente, esta política cambia a partir del año 1990, donde se está tratando de alcanzar una agricultura sostenible para los diferentes cultivos, sobre todo con una política fundamentada en abonos orgánicos, para aumentar el contenido en materia orgánica en nuestros suelos y de biofertilizantes, para sustituir una parte de la aplicación de fertilizantes minerales.

Como resultado de la acción antrópica, se ha cuantificado la degradación de los suelos de Cuba en sentido general, e incluso se ha definido diferentes procesos de degradación de los suelos para las regiones tropicales (Hernández et al., 2005), como son: sabanización, erosión, salinización secundaria, acidificación, compactación, empantanamiento, contaminación química, disminución de la materia orgánica y de la fertilidad del suelo.

Son numerosos los trabajos realizados por la mayoría de los investigadores con el objetivo de mejorar, o incrementar los rendimientos de los cultivos incluyendo aportes de diversas fuentes de abonos orgánicos e implementación de diferentes tipos de biofertilizantes, con diversos usos respectivamente. No obstante, hasta el presente en Cuba, no hay resultados que diagnostiquen con precisión la degradación de las propiedades de los suelos como resultado de la acción antrópica, así como su respuesta a la aplicación de diferentes enmiendas mejoradoras.

Partiendo de esta problemática se plantea la siguiente hipótesis en este trabajo de tesis:

I.1 HIPÓTESIS

Los suelos presentan un nivel de degradación en sus propiedades tanto física, química como biológica por la acción antropogénica en el tiempo, y su estudio sirve de fundamento para establecer su diagnóstico y, al mismo tiempo, estos suelos responden al mejoramiento ante la acción de un importante componente del ecosistema edáfico, como es la materia orgánica.

Para dar respuesta a la hipótesis anteriormente planteada, el trabajo se propone como objetivos, los siguientes:

I.2 OBJETIVOS

- Caracterizar la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, en función de la influencia antropogénica.
- Determinar la respuesta agroproductiva de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, bajo diferentes formas de utilización, al mejoramiento por la aplicación de materia orgánica (humus de lombriz).
- Aportar resultados que contribuyan al establecimiento de índices de diagnóstico de la formación agrogénica en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, que sirvan para el perfeccionamiento de la clasificación y cartografía de los suelos de Cuba.

I.3 NOVEDAD CIENTÍFICA

Se realiza la caracterización de la degradación de las propiedades más lábiles de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de Cuba por el cambio de uso de la tierra (desde suelos muy conservados hasta suelos degradados), así como se evalúa su respuesta productiva al mejoramiento de los mismos mediante la utilización del humus de lombriz.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II.1 Génesis de los suelos tropicales

Cuando se considera la esencia genética de un suelo, no solo se debe tener en cuenta la interacción de los factores de formación, sino además analizar detenidamente las transformaciones que debido a estas interacciones ocurren, ya que el suelo durante su formación está sujeto a una serie de transformaciones químicas, biológicas y físicas, que dan lugar a procesos de síntesis, descomposición y traslocación de sustancias, conllevando finalmente a la diferenciación del suelo en capas y horizontes, conformando así el perfil del suelo (Hernández et al., 2005).

Como se conoce, las regiones tropicales son diferentes a las regiones templadas, siendo los procesos de transformación y translocación de sustancias más enérgicas en la formación de los suelos; dado principalmente por un clima más lluvioso y más cálido. Sin embargo, dentro de las regiones tropicales existen diferencias climáticas, que permiten subdividir las según Segalen (1970) en 3 medios geográficos:

- Medio tropical húmedo o ecuatorial.
- Medio tropical subhúmedo.
- Medio desértico.

La interacción de los factores de formación del suelo (clima, organismos vivos, material de origen, relieve y tiempo) ocurre en forma diferente en cada medio geográfico; dando lugar a diferentes vías de formación de suelos, que constituyen procesos de formación de suelos.

En los medios tropicales húmedos y subhúmedos, los procesos de formación de suelo están regidos principalmente por el grado de evolución del suelo. Según Hernández et al (2005), estos procesos son:

I. Grupo de Procesos de Formación de Suelos (PFS) en los cuales predomina las transformaciones (pedomorfismo) de la parte mineral del suelo:

- Sialitización
- Fersialitización
- Ferralitización
- Alitización
- Ferritización

II. Grupo de PFS en los cuales predomina las transformaciones (pedomorfismo) y acumulación de la parte orgánica del suelo:

- Humificación
- Turbificación

III. Grupo de PFS en los cuales predomina las transformaciones y acumulación de la parte mineral y orgánica del suelo:

- Salinización
- Vertisolización
- Andosolización

IV. Grupo de PFS en los cuales predomina las transformaciones y migración de los materiales minerales y orgánicos del suelo:

- Desalinización
- Gleyzación
- Podzolización
- Lavado, Lixiviación y Pseudopodzolización

V. Grupo de PFS en los cuales tiene lugar la formación de panes endurecidos en el

Suelo:

- Formación de corazas lateríticas

- Formación de corazas infértiles en medio árido
- Formación de corazas silícicas

La manifestación de estos procesos descritas por Hernández et al (2002) origina diferentes tipos de suelos, que se diferencian por: características morfológicas y propiedades químicas, físicas, hidrofísicas y mineralógicas.

En síntesis, la génesis de los suelos tiene que ver, según la pedología tradicional con la formación natural de los suelos en diferentes condiciones (factores de formación), cuyas interacciones da lugar a diferentes transformaciones que constituyen los procesos edafogenéticos, cuya dirección o etapas, da lugar a la formación natural de diferentes tipos de suelos. Esto es lo que se considera como la fórmula neodokuchaviana, esencia de la génesis de los suelos.

II.2 Condiciones de formación y procesos de formación de los suelos Ferralíticos.

Desde el surgimiento de la línea genética en la edafología cubana, el proceso de formación de los suelos Ferralíticos Rojos se relacionó inicialmente con la latosolización y posteriormente con la ferralitización (Hernández y Morales, 1999). En los momentos actuales este proceso sirve para clasificar los Ferralsoles en las diferentes variantes del World Reference Base (Spaargaren et al., 1994; Deckers et al., 1998; Driessen et al., 2001).

Según Driessen et al. (2001), se enuncia en la forma siguiente: "*Ferralitización* es la hidrólisis en un estado avanzado. Si la temperatura del suelo es alta y la percolación intensa, (clima húmedo), todos los minerales primarios intemperizables serán disueltos y removidos de la masa del suelo. Los compuestos menos solubles, tales como los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y granos gruesos de cuarzo, permanecen dentro de la masa del suelo".

“La ferralitización (o desilicificación como es llamado también) tiene lugar en las siguientes condiciones:

- Productos de intemperismo disueltos a concentraciones de pH bajo en la solución, que promueve la salida de la sílice y la concentración de niveles altos de hierro y aluminio.
- Es esencial la estabilidad geomorfológica en superficies relativamente antiguas.
- Material que contiene hierro y aluminio en condiciones fácilmente intemperizables y con poca sílice.
- La ferralitización es un proceso que tiene que ver con el pedomorfismo de la parte mineral del suelo, pasando anteriormente por las etapas de sialitización y fersialitización”.

Sin embargo, en la ferralitización como es una etapa más avanzada en la evolución del suelo, la acumulación del hierro libre es mayor, pudiendo llegar hasta 6-8% ó más y siempre mayor de 60% con relación al Fe total (Hernández et al. 1980). El suelo adquiere color rojo, rojo amarillento prácticamente en el perfil completo, exceptuando el horizonte A que es de tono más oscuro por la influencia de la materia orgánica, siendo al mismo tiempo mucho más profundo, llegando incluso a formarse cortezas de intemperismo. Esta etapa de formación del suelo se conoce como Ferralitización, y es una formación típica del clima tropical.

Conjuntamente o posterior a la ferralitización, en relieves antiguos y de clima tropical, ocurre la lixiviación. Este proceso definido por Duchaufour (1965) sirvió para clasificar lo que llamó “Sols Lesivés”, y consiste en el movimiento de la arcilla desde la parte superior del perfil (Horizonte A), hacia abajo (Horizonte B). Para la pedología norteamericana, este proceso da lugar al horizonte argílico y se utiliza como diagnóstico para la clasificación de suelos (Soil Taxonomy, 1999) y está incluido en la

actual versión de clasificación de suelos de Cuba (Hernández et al., 1999).

Para las condiciones de Cuba estos procesos se han reconocido y actualmente son propios para los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y Ferralíticos Amarillentos Lixiviados (Hernández et al., 1999). Ambos suelos son incluidos en el Agrupamiento de Ferralíticos, que ocupan el 23,6% del país (Instituto de Suelos, 2001).

II.3 Clasificación de los suelos Ferralíticos Rojos

Inicialmente, con la primera clasificación científica de los suelos (Dokuchaev, 1883), los suelos evolucionados de las regiones tropicales se denominaron como lateríticos. Este término predominó hasta que Charles Kellog en la década de los años 50 los denominó como latosólicos. No obstante, con los estudios de los especialistas franceses en las regiones tropicales, sobre todo en África, este término fue cambiado por el de suelos Ferralíticos (Hernández y Morales, 1999).

Las clasificaciones de suelos más utilizadas a nivel mundial hoy día (Soil Taxonomy, SSS, 1999; FAO-UNESCO, 1988; World Reference Base, Deckers et al., 1998; y Major soil Groups of. the World, Driessen et al., 2001), colocan los suelos Ferralíticos en los Ferralsoles (FAO y WRB) y Oxisoles (Soil Taxonomy), planteando que son suelos evolucionados, propios de las regiones tropicales, **pero sin horizonte B argílico**, con una capacidad de intercambio catiónico menor de 16 cmol.kg^{-1} en arcilla. Los suelos Ferralíticos cuando tienen horizonte B argílico, propio del proceso de lixiviación, se ubican como Lixisoles, Acrisoles, Luvisoles o Alisoles, (en dependencia de la CIC y del grado de saturación por bases o que tengan propiedades nítricas, Nitisoles), según la clasificación World Reference Base (Deckers et al., 1998).

En la versión actual de clasificación de suelos de Cuba (Hernández et al., 1999), estos dos tipos de suelos (Ferralítico Rojo y Ferralítico Rojo Lixiviado) se incluyen en el Agrupamiento de suelos Ferralíticos, siendo común para ambos el horizonte principal de diagnóstico Ferralítico, pero para el caso de los lixiviados, presentan además el horizonte normal argílico, que se manifiesta principalmente en los relieves más antiguos de la llanura roja Habana-Matanzas, y otras regiones como el valle de viñales en Pinar del Río.

II.4 Características de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados

Según la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1975), los suelos del Agrupamiento Ferralítico "son suelos que presentan una alteración profunda de los minerales primarios, una eliminación de la mayor parte de las bases alcalinotérreas y una parte de la sílice, con materia orgánica bien evolucionada. Son de perfil tipo ABC, conteniendo un horizonte A con materia orgánica de 2-4%, CCB baja, generalmente menor de 20 meq/100 g, pH oscila de 6-6,5 a excepción de los suelos de esquistos en los que disminuye considerablemente". Específicamente para el Tipo de suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, se plantea que "son de perfil AB_tC, donde se manifiesta una lixiviación de arcilla y de hierro a través del perfil, con una acumulación definida en profundidad. Capacidad de cambio baja, 10 meq/100g, pH de 5-5.5 y un contenido de materia orgánica de 2-3%".

Según la clasificación genética de los suelos de Cuba de 1979 (Instituto de Suelos, 1980), los suelos Ferralíticos se forman bajo el proceso de ferralitización, y se plantea que "son suelos de perfil ABC, con un contenido en materia orgánica de 2-5% para el horizonte A; la CCC generalmente es menor de 20 meq/100g, pH ligeramente ácido a ácido,

relaciones moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menor de 2 y $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ menor de 1,3-1,6".

Para el tipo genético de Ferralítico Rojo Lixiviado se dice que son "suelos de perfil AB_tC , donde se manifiesta una lixiviación de arcilla y de hierro, a través del perfil, con acumulación en B_t ; presentando revestimiento arcilloso en las caras de los agregados. La CCC es baja, alrededor de 10 meq/100g, pH de 5,5-5,0, el contenido en materia orgánica es de 2-3%. La relación C/N es de 8,5 –10".

En la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández et al., 1999), se plantea que "el Agrupamiento de suelos Ferralíticos se caracteriza por una alteración intensa de los minerales, con lavado de la mayor parte de las bases alcalinas y alcalino-térreas, y parte de la sílice; formación de minerales arcillosos 1:1 y acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. De esta forma todos los tipos genéticos tienen horizonte B principal ferralítico".

El horizonte B ferralítico a su vez es un horizonte que se caracteriza por:

- Predominio de minerales arcillosos del tipo 1:1, que pueden alcanzar hasta 10% del tipo 2:1 del contenido total de la fracción arcillosa.
- Capacidad de intercambio catiónico $<20 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ en arcilla.
- Relación sílice: aluminio menor de 2,3 en arcilla.
- Contenido en minerales alterables $<10\%$ de la fracción entre 20 y 200 micras.
- Contenido $<60\%$ de sesquióxidos de hierro en la fracción < 2 micras.
- Contenido Hierro libre: hierro total $>60\%$.
- Estructura con agregados finos o muy finos con microagregados redondeados.

Dentro del Agrupamiento se separan 3 Tipos de suelos: Ferralítico Rojo, Ferralítico Rojo Lixiviado y Ferralítico Amarillento Lixiviado.

Los suelos Ferralíticos Rojos se caracterizan por tener perfil ABC, presencia de horizonte principal, B Ferralítico, y características de color rojo. Los Ferralíticos Rojos Lixiviados tienen horizonte principal ferralítico, horizonte normal argílico y características de color rojo y finalmente los Ferralíticos Amarillentos Lixiviados tienen horizonte principal, B ferralítico, horizonte normal argílico y características de color amarillo-amarillento.

II.5 Cambios Globales en los Suelos (CGS).

Las actividades del hombre han provocado cambios del medio ambiente de forma considerable. Por una parte, su influencia en el aumento de gases en la atmósfera (incremento del 50 % de la concentración de CO₂ en los últimos 100 años y tendencias similares en otros gases como CH₄, N₂O, O₃ y otros), ha intensificado la acción del llamado “efecto invernadero” que conlleva al calentamiento de la atmósfera, con un incremento de la temperatura 0.1° - 0.8 ° C por cada 10 años (Sombroek 1990).

Por otra parte la realización de la llamada “Revolución Verde ó Revolución Científico – Técnica en la agricultura”, dio lugar al surgimiento de procesos de degradación de los suelos, como fue demostrado por los resultados del Programa GLASOD (Oldeman et al., 1990). Además, este problema de la degradación de los suelos, conjuntamente con el crecimiento paulatino de la población, hace suponer que habrá un aumento de la demanda de alimentos entre los años 2000-2025 entre un 45-50%.

Todos estos fenómenos se conciben como Cambios Globales en la interacción Geosfera – Atmósfera, los cuales a su vez impactan en el suelo con los llamados Cambios Globales en los Suelos (CGS).

Estos cambios pueden ser graduales, rápidos o aún catastróficos. Tales cambios afectan la capacidad de la tierra, a través de su influencia sobre

la vegetación y tipos de uso, escorrentía, evaporación, calidad y nivel de las aguas freáticas, etc. Directa o indirectamente los Cambios Globales en los Suelos (CGS) tienen un efecto sustancial sobre las condiciones climáticas globales, las que a su vez influyen en los suelos (Hernández et al., 2002, 2005).

II.6 Cambios Globales en los Suelos (Cuba)

La temática de los CGS en Cuba se inicia con los trabajos de Hernández y Morales (1999); Hernández et al (2002); Hernández et al (2005) y Hernández y Morell (2005).

En síntesis estos autores plantean los principios generales de los posibles cambios globales que pueden ocurrir en los suelos de Cuba y ya específicamente para los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados.

Según estos trabajos, los CGS que pueden presentarse en la agricultura cubana puede darse por:

- Incremento de gases de invernadero.
- Elevación de la temperatura.
- Cambios en las propiedades de los suelos en tiempo - espacio.
- Cambios en las propiedades de los suelos por el cambio de uso de la tierra.

II. 6 a Incremento de los gases de efecto invernadero.

El problema de la emisión de gases de invernadero se ha convertido en un problema mundial. En la Convención de Kyoto, en 1997, sobre los Cambios Climáticos, y el Protocolo firmado Bases para la Acción, ya se plantea que además de la combustión de combustibles fósiles, resulta de suma importancia el cambio de uso de la tierra (sobre todo deforestación y quema), en la emisión de C en forma de CO₂ a la

atmósfera, ya que esta última causa libera de 1000-2000 millones de toneladas adicionales al año (Eizenstat, 1998).

En esta Convención de Kyoto, el negociador estadounidense Mark Hambley planteó a los delegados a la conferencia sobre el cambio climático, que si se llega a un acuerdo para reducir los gases nocivos del efecto invernadero, los países en desarrollo deben adoptar en el futuro objetivos de emisiones que busquen reducir el aumento de sus propias emisiones.

Como se mencionó anteriormente, el incremento de los gases de invernadero ha tenido como consecuencia el incremento del calentamiento global, con el aumento de las temperaturas. Además se plantea que el aumento del CO₂ puede aumentar la formación de biomasa terrestre, efecto que se conoce como "Fertilización por CO₂".

Por lo expuesto anteriormente se puede deducir que a partir del próximo siglo, el problema de emisiones de gases de invernadero tomará un cariz dramático a nivel internacional, con presiones de los países desarrollados hacia los países en desarrollo, para la reducción de la emisión de gases.

II.6 b Elevación de las temperaturas

Un incremento de 1 grados Celsius. de la temperatura media global, responderá a un incremento de 10 % de producción de biomasa. No obstante en la zona tropical y subtropical, donde la temperatura no es factor limitante, normalmente el incremento de la producción anual de biomasa será modesto.

En zona montañosas, los cinturones de vegetación natural y/o cinturones de cultivos serán movidos hacia arriba en unos 1 000 pies cuando la temperatura aumenta en 2 grados Celsius. En estas áreas, más tierras serán cubiertas por vegetación, aunque la extensión neta de

cinturones de cultivos individuales como el café o el té disminuirían (Sombroek, 1990).

Por el incremento de la temperatura media cerca de la superficie de los océanos la evaporación aumentará sustancialmente, la cantidad adicional de agua aumentará la nubosidad y provocará más lluvia.

Este mismo autor ha calculado que un aumento de 1 g. Celsius. de temperatura media producirá $10 \cdot 10^9$ de m^3 de agua adicional; un aumento aproximado del 20 % sobre la producción actual de agua dulce de $44 \cdot 10^9 m^3$ por esto habrá más agua para la agricultura bajo riego.

A pesar que se supone que en las regiones tropicales estos efectos serán menos intensos (Sombroek, 1990; Varallyay, 1990), en Cuba ya se registran variaciones en el clima (Centelles et al., 2001), como son:

- Aumento de la temperatura media anual en 0.5 g. Celsius, con tendencia a 1 g. Celsius.
- Aumento de la temperatura mínima media anual en 1.7° g. Celsius.
- Manifestación de eventos climáticos anormales como la ocurrencia de intensas lluvias en época de seca.
- Manifestación de sequías en época de lluvia.

Estas variaciones pueden estar produciendo cambios en las propiedades de los suelos

II. 6 c Cambios en las propiedades de los suelos en tiempo - espacio.

En suelos formados durante el Cuaternario, en el desarrollo y evolución de los mismos han tenido influencia recambios climáticos que han tenido lugar acorde a las glaciaciones. De esta forma hoy día se desarrollan trabajos que tratan de datar algunas propiedades de los suelos que no se encuentran en equilibrio con el clima actual.

Así por ejemplo Constantini (2005) demuestra que una capa de plintita que esta presente en suelos de Italia, se formó hace 200 000 años en un clima tropical de esa región que ocurrió en el pasado.

En el caso de Cuba, Kartashov et al (1981) y Ortega y Arcia (1983); demuestran que la formación de suelos estuvo influenciada por períodos húmedos y áridos durante el Cuaternario. Hernández et al (1985, 1990) durante la ejecución de la regionalización geográfica de los suelos de las provincias orientales de Cuba (35 000 Km²), encontraron propiedades edafológicas que corroboran los criterios de Ortega y Arcia (1983). Según estos resultados, este territorio puede dividirse en tres fajas de distribución de suelos acorde a las propiedades de los suelos, el clima actual y el paleoclima, destacando que hay una faja de suelos de clima tropical subhúmedo seco (con coeficiente hidrométrico < 1.2 durante todo el año), en que los suelos presentan relictos edáficos de un clima semiárido (como horizonte solonetz, solonchaks, concentraciones diversas de sales y/o presencia de carbonatos secundarios).

Otro problema que está ocurriendo por la influencia del cambio climático en Cuba es el aumento del pH en Ferralsoles y Nitisoles ródicos éutricos de la llanura roja de la Habana, que según Hernández et al (2005) es debido a la acción de la influencia combinada del cambio climático y del hombre.

II.7 Cambios en el suelo por las transformaciones de los ecosistemas a los agroecosistemas.

El ecosistema es ante todo un sistema integrado por diferentes componentes, los cuales están en equilibrio y donde cada componente puede tener varios estados, determinado por las relaciones entre los propios componentes.

Se hace necesario pues, que el hombre conozca el estado de los diferentes componentes (clima, suelo, vegetación, biodiversidad, etc.) y sus relaciones dentro del ecosistema para poder tener un manejo adecuado en la transformación al agroecosistema y de esa forma evitar la degradación del medio.

Muchas veces el suelo que ponemos en explotación agrícola tiene una serie de propiedades (nivel de fertilidad, capacidad de intercambio catiónico, nódulos, tipo de minerales arcillosos, bases cambiables, textura, etc.), que no están en equilibrio con las condiciones climáticas actuales. Estas propiedades constituyen el concepto de "suelo – memoria" y pueden cambiar rápidamente bajo un sistema intensivo de explotación agrícola, en las condiciones climática actuales, es decir, estas propiedades que constituyen etapas de formación del suelo (procesos de formación) no se formaron todas en el mismo momento, sino que fue una evolución paulatina, principalmente pleistocénica y holocénica y debemos aprender a predecir qué cambios se producen en los momentos y condiciones actuales ("suelo – momento").

Hoy en día la situación está caracterizada por numerosas formas de la actividad humana sobre la tierra y los océanos, que han conllevado al deterioro, degradación y aún completa destrucción de los sistemas naturales y/o de sus componentes (Targulián, 1990). El acrecentamiento de esta situación en los últimos 50 – 60 años está creando incertidumbre de nuestro conocimiento y comprensión para manejar eficazmente la naturaleza en función del bienestar de hombre.

Desde este punto de vista hay que partir de nuevo del componente suelo, que es donde se reflejan esos cambios, muchas veces más negativos que positivos en relación con su capacidad de producción. No obstante hay que reconocer que cuando hay un manejo adecuado de la situación se han obtenidos resultados favorables, desde el punto de vista agrícola en la recuperación de suelos, como es el caso de la

recuperación de áreas pantanosas por métodos de drenajes, formación de suelo (recultivación) en zonas afectadas por la minería, aplicación adecuada de riego con elevación del rendimiento de las cosechas, desalinización de áreas infértiles, etc.

Los suelos como constituyentes de la pedosfera representan el recurso natural más importante para la obtención de alimentos, fibras y madera. Ellos funcionan no solamente como suministro de agua y nutrientes para la vida de las plantas, sino también como redistribuidor y regulador de la mayoría de flujos importantes de materia y energía.

El uso intensivo de los suelos ha conllevado a cambios globales, que afectan la capacidad productiva de las tierras, a través de su influencia sobre la vegetación y tipos de usos posibles en la agricultura, la escorrentía, evaporación, calidad de las aguas freáticas. Directa o indirectamente tales cambios del suelo tienen un efecto sustancial sobre las condiciones climáticas globales, las que a su vez influyen en los suelos.

Pero existen muchas experiencias que evidencian que el hombre en su afán por suplir sus necesidades, ha dado lugar a cambios en las propiedades de los suelos que constituyen procesos de degradación, muchas veces irreversibles.

Autores como Borst et al. (1945) y Lal (1976), citados por Bruce et al. (1990), plantean que las prácticas de producción de cultivos han degradado la superficie de los suelos en grandes áreas. Plantea que la superficie degradada de los suelos produce grandes cantidades de escurrimientos, son bajos en materia orgánica, en actividad biológica y muestran insuficiencia en los nutrientes esenciales para las plantas.

Esto concuerda con lo expresado por García (1999 y 2000), la cual plantea la intensificación de la agricultura como una causa de la disminución de las tierras agrícolas, e insuficiente producción de alimento en los trópicos.

Los cambios en el uso no adecuado de los suelos por agricultores, decrece significativamente en corto tiempo la productividad de los cultivos. Esto puede ser explicado por el agotamiento de los nutrientes y las modificaciones en las características físicas y biológicas de los suelos.

II.8 Degradación de los suelos por la influencia antrópica

Desde hace tiempo las regiones tropicales del planeta se estimaron como las grandes reservas para la producción de alimentos y de materias primas agrícolas para el consumo mundial, incluso para la demanda de alimentación de una población que alcanza los 6 000 millones de habitantes al final del milenio.

Sin embargo, estas reservas han ido disminuyendo poco a poco por la explotación indiscriminada de los ecosistemas tropicales. En los países mas desarrollados, la actividad humana en el aumento de la producción agropecuaria ha conllevado a la asimilación de tierras vírgenes y terrenos baldíos, con la aplicación intensiva de recursos técnicos en la agricultura como son la mecanización, el riego y la quimización principalmente. Por otra parte en los países menos desarrollados, con mayores índices de pobreza, el desconocimiento y la necesidad social conlleva a la utilización inadecuada de las tierras la mayoría de las veces, con el desarrollo de una agricultura migratoria en las regiones más recónditas como son las regiones montañosas.

Según Ortiz Solorio, Anaya y Estrada (1995), los factores que favorecen la degradación de las tierras son: la sobrepoblación, la sobreexplotación, los cambios inadecuados de uso del suelo, las tecnologías inadecuadas, las presiones socio económicas y políticas de las tradiciones culturales adoptadas.

Para Hernández et al (2005), los procesos de degradación de los suelos son provocados por el desconocimiento de las condiciones edafológicas y de mejoramiento, cuando se va a poner en explotación agrícola una región determinada, ya sea de bosques, ya sea de sabana secundaria. Hacen énfasis estos autores en que el suelo es el espejo de la naturaleza, por lo que constituye un bloque de memoria, que registra y manifiesta todos los cambios que han ocurrido durante su formación a través de sus propiedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e hidrofísicas (Targulián, 1990). Por esto, es necesario conocer cómo se formaron los suelos y cómo van a evolucionar sus propiedades edafológicas, ante los cambios que pueda provocar el hombre en la práctica agrícola, para de esta forma poder pronosticar las variaciones que puedan producirse cuando se pone explotación una región determinada, sobre todo cuando se van a aplicar tecnologías como el riego, la mecanización, la quimización, etc .

La degradación del suelo, es uno de los problemas más graves que se origina por el uso indebido de los suelos, que se manifiesta en procesos como: la erosión, acidificación, pérdida de materia orgánica, compactación, pérdida de elementos nutritivos, contaminación química y salinización. Como consecuencia, se estima que más de 3 millones de km² de tierra agrícola en América Latina y El Caribe han sufrido pérdida significativa de productividad (PNUMA, 2003).

En Europa, a pesar de que la manifestación de los procesos de degradación de los suelos se conoce hace tiempo, no es hasta hace poco que se viene prestando atención a este fenómeno. Según Montanarella (2003) "Solamente durante los 2-3 últimos años la necesidad para un intento coherente de protección del suelo se toma en consideración en la agenda política de Europa y fue por tanto introducido como una de las estrategias temáticas para ser desarrollado dentro del Programa de Acción del Medio de Comunidades".

En diferentes países de Europa en estos momentos se presta una fuerte atención a los problemas de degradación de los suelos, sobre todo de los antiguos países socialistas.

Hernández y Morales (1999), plantean que los cambios globales en los suelos inducidos por el hombre conllevan en muchos casos a procesos de degradación; enumerando para las regiones tropicales los siguientes: Sabanización, Empobrecimiento, Erosión, Acidificación, Empantanamiento, Salinización secundaria, Contaminación, Destrucción agrotécnica y mecánica y Disminución de la fertilidad.

Es necesario destacar que todos estos procesos anteriormente descritos, guardan una estrecha relación con los cambios de las propiedades de los suelos producto de la influencia antrópica con el consabido empleo la aplicación de altas tecnologías en la agricultura como son el cultivo intensivo y continuado, la aplicación de tecnologías erróneas de preparación de suelos, la aplicación desmesurada de fertilizantes minerales y pesticidas.

Dentro de estos aspectos los de mayor repercusión en nuestro país producto de la acción del hombre en la alteración de los ecosistemas naturales, se describen a continuación.

II.8 a Destrucción agrotécnica y compactación de los suelos

Otro de los grandes problemas de degradación de los suelos de las regiones tropicales es el de la destrucción de la estructura del suelo y su compactación. El uso intensivo de las máquinas, la quimización y otras medidas en la agricultura, sin tener en cuenta las características de los suelos y sus propiedades agroproductivas, da lugar a este proceso negativo. Esto ocurre principalmente en suelos tropicales evolucionados como Ferralsoles, Acrisoles y Nitisoles; ya que en suelos con presencia de minerales arcillosos del tipo 2:1, la compactación puede ser

pedológica y no antropogénica, como ocurre en suelos Pardos Sialíticos arcillosos, Vertisoles y Gleysols Vérticos (Hernández et al., 2002).

El grado de compactación del suelo se mide por el penetrómetro y también por el peso volumétrico. En estos suelos para el cultivo de la caña de azúcar, Roldós (1986), determinó el valor de la densidad crítica por la compactación, estableciendo el valor de 1,35 g/cm³. A partir de este valor, las raíces de la caña de azúcar no se desarrollan mas profundamente, a no ser que se rompa esta compactación por aplicación del subsolador.

En Cuba el ejemplo típico lo tenemos en la compactación de los suelos Ferralíticos Rojos de la llanura Habana-Matanzas, donde los resultados presentados por Alfonso (1997), describen perfectamente este problema; que conlleva a la disminución del contenido de materia orgánica del suelo, destrucción de la estructura y surgimiento de la compactación.

La compactación de los suelos de Cuba en parte es debido a la influencia del hombre, y en parte por características propias de los suelos. Sobre esto último se tiene que los Vertisoles en estado seco poseen un alto nivel de compactación, al igual que los suelos Pardos Sialíticos. Sin embargo en los suelos Ferralíticos, principalmente los Ferralíticos Rojos Lixiviados, la compactación se hace evidente cuando se laboreo el suelo por muchos años, sobre todo con el uso intensivo de la maquinaria. En estudios realizados recientemente se ha podido observar que en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la provincia Habana, por el cultivo intensivo sin utilizar subsolador se crea un piso de arado muy compacto, alcanzando la densidad aparente del suelo un valor que oscila entre 1,17-1,25 kg. /dm³ (Borges, 2003; Morell y Hernández, 2004).

Según Rivera (comunicación personal, 2004), en los suelos Ferralíticos Rojos de la Finca Las Papas, situada cerca del INCA, en provincia Habana, en los años que se investigó con el cultivo del café en dicha

estación (mediados de la década de los años 70 y parte de los 80), era necesario pasar subsolador cada 4 años a las plantaciones de café, debido a la caída en los rendimientos.

Para estos suelos Ferralíticos Rojos (Ferralsoles) se recomiendan varias medidas para evitar o contrarrestar la compactación en ellos:

- Roturación del suelo con el multiarado
- Rotación adecuada de los cultivos, manteniendo un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo y conservando su estructura
- Aplicación de materia orgánica cuando el suelo lo requiera
- Destrucción de la compactación por el subsolador.

II.8 b Disminución de la fertilidad del suelo

Este proceso de degradación comienza por la transformación del suelo de bosque en suelo de sabana, perdiendo gran parte de la materia orgánica del suelo (MOS). Cambios en el uso de la tierra pueden llevar a pérdidas en las reservas de carbono y en la fertilidad del suelo. Se estima que actualmente el 20% de las emisiones de CO₂ provienen de la deforestación y el uso de la tierra (Watson, 1999; Canadell et al., 2001; Ponce de León, 2004).

Cuando surge cualquier proceso de degradación en los suelos, se afecta grandemente su fertilidad, pasando el suelo a tener una capacidad agroproductiva menor. Se puede decir que la forma más típica de disminución de la fertilidad de los suelos es por las pérdidas por erosión. Según Segalen (1970) las pérdidas de 120 t/ha de suelo, registradas en Costa de Marfil, en pendiente de 12% dan lugar a pérdidas en carbono orgánico y nutrientes en la forma siguiente:

- 440 kg de carbono orgánico
- 53 kg de nitrógeno
- 23 kg de P₂O₅
- 71 kg de CaO

- 23 kg de MgO
- 35 kg de K₂O
- 103 kg de Na₂O.

Que a su vez representa en fertilizantes o enmiendas:

- 3,6 t de estiércol
- 240 kg de dolomita
- 60 kg de KCl
- 250 kg de S₀₄(NH)₂
- 130 kg de superfosfato a 18% de P₂O₅

Uno de los grandes problemas en los trópicos hoy día es la pérdida de la materia orgánica en los ecosistemas; tanto por los problemas de emisión de C en forma de CO₂ a la atmósfera, como por las pérdidas en el suelo, que influye no solo en el contenido de nutrientes, sino también en la degradación de la estructura del suelo, que favorece el surgimiento de la erosión y la compactación y perjudica además el régimen hídrico y aéreo del suelo.

El significado particular de la materia orgánica del suelo (MOS) para la fertilidad del suelo es tal que influye en muchas propiedades diferentes del suelo como: capacidad de intercambio catiónico y retención de humedad, agregación y coeficiente de dispersión de las partículas, tipo y estabilidad estructural, densidad aparente, porosidad total y de aeración, actividad biológica y contenido en nutrientes sobre todo en nitrógeno.

Por lo anterior, varios autores consideran que el contenido y calidad de la MOS es un atributo de significado particular para la sostenibilidad del recurso suelo (Sánchez et al., 1989; Pallo, 1991).

Diversos autores como Ferrotti. et al (2005), plantean que la MOS y el nitrógeno (N), son componentes esencialmente alterados por las prácticas de manejo del suelo. La MOS es un componente clave del

suelo ya que esta ejerce influencia sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, que definen la productividad del mismo. Los cultivos generalmente disminuyen la MOS, especialmente si son realizados bajo laboreo tradicional. La cantidad de MOS es el resultado del balance entre la humificación y la mineralización en condiciones naturales. Tal balance puede ser manejado por la cantidad de carbono orgánico que es retornado al suelo y por el cambio de preparación de suelos y fertilización.

Para las condiciones de Cuba se viene trabajando en el problema del carbono de los ecosistemas y de la materia orgánica del suelo. Recientemente se presentaron algunos trabajos al respecto; sobre el cambio del contenido en materia orgánica de los suelos de Cuba por los cambios globales (Hernández y Morales, 1999), sobre las reservas de materia orgánica en los suelos de Cuba (Morales et al., 1999) y del contenido de C en los ecosistemas de la Sierra del Rosario (Suárez, 1999).

Científicos como Dudal, (2001), plantean que las prácticas de manejo de suelos y otras intervenciones humanas, han sido poco estudiadas, teniendo un impacto sobre la formación de los suelos. Las primeras clasificaciones de suelos no fueron sistemáticamente creadas para suelos que habían sido modificados por el hombre.

Las intervenciones humanas han constantemente modificado el recurso suelo con el propósito de facilitar el crecimiento de los cultivos, la ganadería etc. Dichas interacciones tales como la mecanización, la fertilización mineral etc. las indirectas como cambiando la formación natural del suelo, cambiando vegetación natural por la deforestación, el relieve por nivelaciones y creaciones de terrazas, cambiando el régimen de humedad del suelo a través de irrigaciones y drenajes, han propiciado el deterioro gradual de los suelos.

El mismo autor (Dudal, 2001), expresa que la influencia humana sobre los suelos ha sido mucho menos expresada que la originalmente percibida. La diversidad de los suelos antropogénicos ha dado lugar a la proliferación de diferentes nombres y unidades con el objetivo de evitar una ruptura o división de clases. Esto es elaborado para identificar los diferentes tipos de suelos formados producto de la intervención humana:

- Cambios en las clases de suelos inducidos por el hombre
- Diagnóstico de horizontes realizados por el hombre
- Nuevo material de origen inducido por el hombre
- Perturbación de la profundidad del suelo inducida por el hombre
- Cambios en la superficie del suelo inducida por el hombre

Los mayores cambios en las características de los suelos inducidos por el hombre ocurren en la capa superficial del suelo como resultado del laboreo, deforestación, fertilización, riego, drenaje, erosión, contaminación por metales pesados etc. La superficie del suelo tiene primaria importancia para el manejo de la fertilidad del mismo y para la producción de cultivos, todavía las características de esta superficie no han recibido un lugar prominente en los sistemas de clasificación, basándose solo en los horizontes subsuperficiales considerados a ser mas estables.

Es frecuentemente erróneo no tener en cuenta las diferencias entre las superficies de los suelos natural y cultivado, involucrándolos en la misma clase. Esto puede ser la principal causa de fallo al establecer relaciones entre la taxonomía de suelos y la respuesta de estos a la aplicación de enmiendas mejoradoras.

II.9 La materia orgánica y su papel en los suelos

La influencia favorable de la materia orgánica y en especial de humus en los suelos ha sido reconocida mundialmente y en los últimos años se le presta gran atención a esta problemática en Cuba, con resultados aportados por varios autores como, García (1999, 2000 y 2002); Martín y Rivera (2002; 2004); Martínez et al, (2003); Morales et al (2003); Ponce de León (2003). A continuación se señalan sus principales efectos sobre las propiedades química – físicas y biológicas del suelo.

II.9 a Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas

- Disminuye la densidad aparente del suelo por tener menor densidad que la fracción mineral.
- Mejora la estructura del suelo principalmente a través de la formación de microagregados estables.
- Aumenta la porosidad del suelo, mejorando su aireación y retención de agua.
- Disminuye los efectos negativos de la acción mecánica del paso de la maquinaria.
- Contribuye al aumento de la conductividad hidráulica del suelo como consecuencia de los espacios vacíos que se forman en la interfase entre las partículas minerales y orgánicas.
- Contribuye a reducir las pérdidas de suelo por erosión gracias a su capacidad de cohesionar las arcillas.
- Favorece al mantenimiento de temperaturas constantes en el suelo, al tener una conductividad térmica mayor que la fracción mineral.

II.9 b Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades químicas

- Influye directamente en la disponibilidad de nitrógeno ya que la mayor parte de este elemento se encuentra almacenado en el suelo en forma orgánica.
- Mejora la nutrición fosfórica de las plantas ya que favorece el desarrollo de microorganismos fosfosolubilizadores que actúan sobre los fosfatos insolubles del suelo.
- Mejora la disponibilidad de micronutrientes para las plantas.
- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico en los suelos, particularmente en aquellos con bajo contenido de arcillas.
- Favorece indirectamente en la absorción de nutrientes por la acidificación ligera del medio.
- Contribuye a la adsorción de moléculas de agua por el elevado número de grupos funcionales que posee.

II.9 c Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades biológicas

- Estimula el desarrollo y la actividad de los microorganismos del suelo ya que constituye su principal fuente de energía y nutrientes.
- Favorece la presencia de lombrices y otros organismos que contribuyen a mejorar la estructura del suelo.
- Puede limitar el desarrollo de microorganismos patógenos directamente o favoreciendo al desarrollo de antagonistas.
- Puede proporcionar actividad enzimática que por tanto facilita la hidrólisis de moléculas de cadena larga, haciendo disponibles algunos nutrientes para las plantas.
- Juega un papel en la adsorción de sustancias reguladoras de crecimiento y plaguicidas aplicados en el suelo.

- Puede servir de soporte de diversos microorganismos de interés agrícola como los fijadores simbióticos y no simbióticos de nitrógeno, fosfosolubizadores, hongos micorrízico arbusculares y agentes de control biológico.

II.10 Algunas consideraciones sobre el mejoramiento de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL).

En el pasado y aún hoy en día, en muchas partes el énfasis de las prácticas o medidas de conservación eran controlar las tasas de pérdidas del suelo por erosión expresadas en t/ha ó mm/año. Las medidas de conservación generalmente mecánicas, estaban dirigidas a reducir la erosión a una tasa aceptable llamada tolerancia o pérdida de suelo, actualmente ha cambiado el énfasis ya que se considera que los efectos de la erosión no son solos pérdidas en profundidad del suelo, sino pérdidas de nutrientes y materia orgánica y deterioro de las propiedades físicas. (Alfonso y Monedero, 2004).

Como es bien conocido los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, son suelos con arcilla de baja actividad (grupo de las caolinitas o kanditas), por lo que en ellos la capacidad de intercambio catiónico (que es un índice muy importante de la fertilidad del suelo), es baja. Por esto, en estos suelos es muy importante el contenido en materia orgánica, ya que influye en muchas propiedades del suelo relacionado con su fertilidad.

Bruce et al (1987) enfatizaron la influencia de las características del suelo sobre el desarrollo del cultivo, particularmente la relación entre la materia orgánica del suelo y la agregación del mismo. Se ha demostrado que la materia orgánica del suelo y el nitrógeno, pueden aumentar a través de la rotación de cultivos y la aplicación de abonos verdes debido a que estos nutrientes retornan al suelo. (Ferrotti et al., 2005).

A pesar de sus ventajas, el empleo exclusivo de los fertilizantes minerales, no ha podido solucionar los múltiples problemas relacionados con la fertilidad del suelo, y debido al uso intensivo de este insumo agrícola, en función de métodos inadecuados de manejo de suelo y cultivos, se han presentados serios problemas de degradación ambiental y pérdidas de la capacidad productiva de los suelos. Estos problemas se hacen aún mas graves en las regiones tropicales, donde existe un movimiento intenso del suelo, y la destrucción rápida de la materia orgánica (M.O.), la estructura y los agregados del suelo (Álvarez, 1999; García, 2000).

Por otra parte, se ha visto que el uso intensivo de la maquinaria y de los agroquímicos, además de la disminución del contenido en materia orgánica, provoca la compactación en el límite superior del horizonte B, alcanzando la densidad aparente del suelo valores críticos que se hace impenetrable al desarrollo del sistema radical de las plantas.

Por estas razones en los últimos años, principalmente después del año 1990, en Cuba se viene trabajando intensamente en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos con el uso de diferentes alternativas que constituye lo que se llama manejo agroecológico del suelo, (Martín y Rivera, 2004). Entre las alternativas que se han trabajado se tiene:

- Elevar el contenido de MOS con abonos orgánicos (estiércol, humus de lombriz, compost, abonos verdes).
- Producción y aplicación de biofertilizantes.
- Técnicas de laboreo mínimo y aplicación de equipos especiales como el multiarado.
- Establecimiento de rotación de cosecha según los cultivos.

Resultados meritorios se tienen hoy en día con el desarrollo de la lombricultura. Por disposición del Ministerio de Agricultura de Cuba, hay un programa para la producción acelerada de materia orgánica, donde el papel principal lo juega el Instituto de Suelos, que está desarrollando exitosamente la tecnología de lombricultura (Martínez et al., 2003). En general, se está dando como recomendación actual para el mejoramiento de los suelos la aplicación de 4 t/ha^{-1} .

El empleo de alternativas nutricionales orgánicas, que sustituyan a los fertilizantes químicos incrementa la fertilidad del suelo, fundamentalmente la nitrogenada, además de estimular la actividad microbiana y mejorar tanto las propiedades químicas como las físicas. Dentro de estas, se tiene la utilización de los abonos verdes en los esquemas de rotación y secuencia de cultivo. Esta es una práctica que se ha ido incrementando en diversos lugares del mundo, no solo en lo relacionado con los aportes de nitrógeno al sistema sino por ventajas derivadas de aumento de la actividad biológica del suelo y los aportes de carbono, entre otros aspectos. (Martín y Rivera., 2004).

La utilización de los abonos verdes dentro de los esquemas de rotación y secuencia de cultivos, es una práctica que se ha ido incrementando en diversas partes del mundo (Xu, Myers y Saffinga, 1993; Barber, 1994; Duque, 1996; Kass et al, citados por Rivera et al (1999) no solo relacionado con los aportes de nitrógeno al sistema sino por ventajas derivadas del incremento de la actividad biológica del suelo, los aportes de carbono, la disminución de las enfermedades, entre otras.

Magníficos resultados se han obtenido en la Finca Las Papas del INCA en el mejoramiento de las propiedades de los suelos FRL, con la aplicación de abonos verdes, obteniéndose altos rendimientos en los cultivos (García et al., 2000a, b; Martín y Rivera, 2002).

El uso de los biofertilizantes constituye una alternativa promisoría dentro de la agricultura sostenible o de bajos insumos, debido no solo a su bajo costo de producción, sino también a su factibilidad desde el punto de vista ecológico (Soroa et al., 2003).

Desde este punto de vista, se han obtenido resultados con *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, hongos micorrízicos arbusculares y otros. El INIFAT desarrolla en estos momentos trabajos con los 2 primeros microorganismos mencionados, con magníficos resultados obtenidos por Martínez Viera y Dibut (2003).

Con las *Pseudomonas*, el Instituto de Suelos ha desarrollado la "fosforina", biofertilizante que aumenta el contenido de fósforo asimilable en los suelos, bacteria capaz de solubilizar el fósforo y pasarlo a la disolución del suelo, para que de esta forma sea asimilado este nutriente por las plantas. Este efecto se ve más marcado para los suelos Ferralíticos, en los cuales el contenido en este nutriente es bajo (Bach y Ferrán, 2003).

En cuanto a la aplicación del *Rhizobium* como bacteria fijadora de nitrógeno, la mayoría de las instituciones trabajan actualmente en la preparación de biofertilizantes, siempre con muy buenos resultados, que confirman su excelencia tanto a nivel nacional como internacional.

Janos (1985), citado por Herrera et al (1994) demostró experimentalmente el hecho de que en realidad las micorrizas influyen sobre la sucesión vegetal, para ello analizó los datos aportados por una experiencia desarrollada en microparcels donde fue demostrado que las micorrizas favorecieron la coexistencia entre las especies forestales examinadas (9 en total). Además de elevar más de tres veces las biomásas de los follajes de las 9 especies estudiadas, aumentando así sus habilidades competitivas, la inoculación micorrízica también aumentó en más de dos veces los porcentajes de supervivencia.

El INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas) ha desarrollado un biofertilizante para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos con los hongos micorrizógenos, produciendo el biofertilizante EcoMic. Magníficos resultados se tienen con la aplicación de este biofertilizantes en posturas de cafeto en suelos de Topes de Collantes (Alíticos y Ferralíticos), que llegaron a obtener el Premio Internacional Andrés Aguilar en el último Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo Fernández et al (2001). Además se han obtenido numerosos resultados satisfactorios con la aplicación de estos hongos formadores de micorrizas en diversos cultivos, tanto en Cuba como en el extranjero (México, Bolivia, Costa Rica, Guatemala y Colombia).

Actualmente se trabaja con la creación del LicoMic, con resultados muy halagadores obtenidos en suelos afectados por sales en la región árida de Murcia y Alicante, España y en Cuba; lo que ha dado la posibilidad de presentarse en estos momentos en forma de patente (Fernández et al., 2003).

Los resultados obtenidos por el INCA con el manejo efectivo de la simbiosis micorrízica se presenta actualmente condensado en un libro publicado recientemente, aplicado a Centroamérica y El Caribe (Rivera et al., 2003).

En los resultados de la tesis doctoral del profesor Manuel Riera (2003), se pudo apreciar el papel importante que juegan las micorrizas en la formación de microagregados, en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la finca Las Papas, del INCA.

Son numerosos los trabajos realizados por la mayoría de los investigadores con el objetivo de mejorar, o incrementar los rendimientos de los cultivos incluyendo aportes de diversas fuentes de abonos orgánicos e implementación diferentes tipos de biofertilizantes, con diversos usos respectivamente. Sin embargo casi ningún autor hasta la actualidad ha estudiado a profundidad cuales son los índices

que diagnostiquen eficientemente el cambio de las propiedades de los suelos, que conllevan a la degradación de los mismos, como resultado de la acción antrópica, y menos aún la evaluación del mejoramiento de las propiedades de estos suelos por la aplicación de las sustancias o tecnologías de mejoramiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Considerando como base los objetivos del trabajo para estudiar o evaluar el estado de conservación de los suelos, así como su respuesta agroproductiva ante la aplicación de una enmienda orgánica, se procedió de la siguiente manera:

El presente trabajo se realizó durante el año 2005, para el mismo se tomaron para el estudio 10 perfiles de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, caracterizados en la región de San José de las Lajas, Provincia Habana.

Los perfiles estudiados en relación con el uso de la tierra se presentan a continuación:

Perfil 1. Tomado bajo plantación de mango (*Mangífera indica*) de más de 30 años, ubicado en el INCA; en el área que se encuentra a un costado del edificio de la Dirección del Centro.

Perfil 2. Tomado bajo arboleda de ficus (*Ficus sp.*) permanente, localizado en el INCA, a un costado del edificio de la Dirección del Instituto

Perfil 3. Tomado en área de pastos en los últimos 5 años y antes estuvo cultivado en el camino hacia la UNAH.

Perfil 5. Tomado en área cultivada con flores en los últimos 4 años en los terrenos del INCA.

Perfil 6. Tomado bajo plantación de cítricos (*Citrus sp.*) de más de 30 años en la Finca "Las Papas"

Perfil 7. Tomado bajo plantación de aguacate (*Persea americana*) de más de 30 años en la Finca "Las Papas"

Perfil 8. Tomado en área de plantación de guayaba (*Psidium guajaba*) de 20 años en terrenos del INCA a un costado del teatro.

Perfiles 4, 9 y 10. Tomados en área de cultivo intensivo, en la finca Las Papas, del INCA

La descripción de los perfiles se realizó por el Manual Metodológico para la Cartografía Detallada y la Evaluación Integral de los Suelos de Hernández et al., (1995).

La clasificación de los suelos se realizó por la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández et al 1999), aplicando al mismo tiempo la clasificación por el World Reference Base (Deckers et al 1998) y la clasificación Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003).

Para determinar el estado actual de los suelos en estudio teniendo en cuenta sus propiedades, se analizaron y caracterizaron los siguientes parámetros:

III. 1 Caracterización morfológica

Se tomaron en cuenta las propiedades que se describen en los perfiles estudiados, las cuales se enumeran a continuación:

- Tipos de horizontes genéticos
- Tipos de horizontes y características de diagnóstico
- Transición entre los horizontes
- Color por Tabla Munsell (Munsell Soil Color Charts, 2000)
- Tipo de estructura
- Consistencia
- Humedad
- Porosidad
- Inclusiones naturales
- Inclusiones artificiales

III.2 Caracterización física y química

- pH (H₂O) y pH (KCl)
- Textura

- Microestructura
- Humedad
- Factor de dispersión
- Densidad aparente
- Densidad real
- Porosidad total
- Bases intercambiables
- Materia orgánica
- Nitrógeno total

III.3 Los métodos analíticos fueron los siguientes:

- pH por potenciometría
- Composición mecánica por el método de Bouyoucos modificado, usando pirofosfato para la eliminación de los microagregados e NaOH como dispersante.
- Composición de microagregados por el método de Bouyoucos, sin utilizar reactivos químicos
- Factor de dispersión por la división del porcentaje de arcilla de microagregados entre el porcentaje de arcilla del análisis mecánico multiplicado por cien.
- Densidad aparente en campo a través de la fórmula siguiente:

$$D = \frac{Ph - 100}{100 + \% W}$$

Donde: D= densidad aparente

Ph = peso del cilindro con la tierra en húmedo

%W= porcentaje de humedad

- Densidad real por el método de los picnómetros
- Porosidad total por cálculo a través de la fórmula:

$$Pt = \left(1 - \frac{D}{Pe}\right) \times 100$$

Donde: Pt= porosidad total

D= densidad aparente

Pe= densidad real o peso específico

- Cationes intercambiables por el método con AcNH_4
- Materia orgánica por Walkley Black
- Nitrógeno total por el método colorimétrico con reactivo NESSLER

Todos los métodos analíticos expuestos anteriormente fueron realizados según Métodos para Prácticas de Edafología (Kaurichev, 1984), y el Manual de Laboratorio para el Análisis Físico de los Suelos (Luis y Martín, 2003) y por el Manual de Técnicas Analíticas para análisis de suelo, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (Paneque et al., 2002).

III.4 Caracterización biológica (Determinadas solamente para los perfiles del experimento en macetas)

- Actividad biológica
- Actividad micorrízica (población y glomalina endémica)

III.4 a La caracterización biológica fue sobre la base de actividad biológica por:

- Conteo de bacterias, hongos y actinomicetos.
- Actividad micorrízica, teniendo en cuenta la cantidad y tipo de esporas endémicas de HMA en cada variante, así como el conteo de micelio, porcentaje de infección, densidad visual y masa del endófito
- La producción de glomalina (total y fácilmente extraíble). Se realizó por el método de (Wright and Upandhyaya, 1999).

El conteo hongos, bacterias y actinomicetos se realizó por el método de disolución-suspensión de suelo, con siembras superficiales en placas Petri, empleando como medios de cultivos los siguientes:

- Rosa bengala (Hongos)
- Rojo congo (*Azospirillum*)
- King B. (*Pseudomonas*)
- YMA (*Rizobium*)
- SYP (Levaduras)
- CAA (Actinomicetos)

Se determinó el porcentaje de colonización micorrízica o frecuencia de Colonización (% Col.) mediante la Técnica de Tinción descrita por Phillips y Hayman (1975), evaluándose por el método de los Interceptos descrito por Giovanetti y Mosse (1980). Se calculó el porcentaje de Densidad Visual (% DV) y la Masa del Endófito, parámetros que nos mide la intensidad de la colonización según metodología descrita por Herrera et al. (1995), así como se contó el número de esporas en cada suelo después del muestreo utilizando el sistema del tamizado y decantado por vía húmeda de los propágulos del hongo de acuerdo con el método descrito por Gerdemann y Nicolson (1963).

II.4 b Técnica para la extracción de la Glomalina

Glomalina total

A 0.25 gramos de suelo se le adiciona solución de citrato de sodio 50 mM a pH 8.0 y se somete en autoclave a 121 grados Celsius por 90 min. Luego se centrifuga a 9150 rpm. por 5 min. a 3000 rpm. Durante 15 min. y se recoge el sobrenadante. Al residuo se le agrega otro dos mililitros de solución citrato de sodio y se repite la extracción hasta que desaparezca el color rojizo de la proteína. Se unen los extractos y en ellos se determinan proteínas por el método de Bradford (1976) usando albúminas de suero bovino (BSA) como estándar.

Glomalina fácil extraíble

A 0.25 g de suelo natural se le adiciona 2 ml de solución citrato de sodio a 20 mM. a pH 7 y se somete en autoclave a 121 grados Celsius por 30 min. Luego se centrifuga a 9150 rpm. durante 5 min. y en el sobrenadante se determina por el método de Bradford (1976).

III.5 Experimento en macetas.

El experimento para evaluar la respuesta agroproductiva de las tres variantes de suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, (Perfil 1, Perfil 2, y perfil 4.) se realizó durante el transcurso del año 2005, y fue diseñado de la siguiente manera:

III.5 a Tratamientos a utilizar:

1. Suelo FRL bajo arboleda de ficus (*Ficus sp.*) permanente.
2. Suelo FRL bajo arboleda de ficus + humus de lombriz
3. Suelo FRL bajo plantación de mango (*Mangífera indica*) de más de 30 años
4. Suelo FRL bajo plantación de mango + humus de lombriz
5. Suelo FRL cultivo intensivo, en la finca Las Papas, del INCA
6. Suelo FRL cultivo intensivo + humus de lombriz

III.5 b Condiciones experimentales

El experimento fue montado en condiciones semicontroladas (Invernadero). Para el mismo se utilizaron macetas de 5 kg de capacidad. Para la preparación de las macetas se tomó la capa superficial (0-20 cm) de las tres variantes de suelo estudiadas. Este suelo después del proceso de secado, se procedió al tamizado por un tamiz de 5 mm con el objetivo de conservar un tamaño de agregado uniforme para todos los tratamientos.

Se utilizaron semillas de Sorgo (*Sorghum vulgare*), como cultivo indicador, obtenidas del banco de semillas del departamento de Genética del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, el mismo se sembró a razón de un gramo de semillas por maceta, dejando un total de 20 plantas por maceta.

Se aplicó el humus de lombriz producido en el Instituto de Suelos de la Academia de Ciencias de Cuba como enmendante orgánico a razón de tres partes de suelo por 1 parte de humus de lombriz. Al experimento se realizó en tres cortes, llevándose a cabo cada corte al cultivo a los 30 días después de germinado el mismo.

Las variables analizadas fueron masa fresca y seca de la parte aérea del vegetal, con el fin de obtener una respuesta agroproductiva de las variantes de suelo estudiadas. Para ello se tomaron 20 plantas por macetas, las cuales se les determinó la masa fresca expresada en g. tratamiento⁻¹. Para la masa seca las muestras de cada tratamiento fueron colocadas en la estufa a una temperatura de 70 g. Celsius, hasta mantener un peso constante en la muestra.

III.6 Diseños experimental.

El experimento se desarrolló con un diseño de bloques al azar. Para el experimento se efectuaron 4 repeticiones por cada tratamiento. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el paquete estadístico STATGRAPICS® Plus 4.1 y además se aplicó la Dócima de Rango Múltiple de Duncan (1960).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 Cambio de las características morfológicas por la influencia antrópica.

A continuación se presentan las descripciones morfológicas de los perfiles de los suelos en estudio. Por las descripciones de los perfiles se observan semejanzas y diferencias en las características morfológicas de los suelos, que se relacionan con su pedogénesis y utilización.

IV.1.a- Descripción de los perfiles estudiados

No. Perfil: 1

Lugar: INCA; en el área que se encuentra a un costado del edificio de la Dirección del Centro.

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Clima: Tropical Subhúmedo.

Relieve: Llano, con pendiente de 0,5%.

Material de origen: Caliza dura miocénica.

Vegetación: Plantación de mango (*Mangífera indica*) de 30 años, con herbáceas de gramíneas (*sacasebo*, *Paspalum notatum*) y malvas, hierba lechera y otras.

Tiempo: Llanura en forma de polja entre 2 lomeríos de caliza, con relieve posiblemente Mioceno-Cuaternario antiguo.

Clasificación del Suelo:

Clasificación Suelos de Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado típico

Clasificación Soil Taxonomy: Udic Rhodustalf

Clasificación WRB: Nitisol ródico-éutrico

Descripción del Perfil

Horizonte	Prof.(cm)	Descripción
A ₁₁	0-8	Color en seco 2,5YR3/6, rojo oscuro, y húmedo 2,5YR3/6 rojo oscuro, loam arcilloso a arcilloso, estructura nuciforme-granular (1-2 cm.), ligeramente compactado a friable, húmedo, con muchos poros chicos y medianos, con películas arcillosas, brillantes, sin reacción al HCl, transición notable e irregular.
A ₁₂	8-22	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo 2,5YR3/4, pardo rojizo oscuro, arcilloso, estructura de bloques subangulares (4 cm.), bien manifiestos, compactado, un poco más húmedo que el anterior, muchos poros medianos, con muchas películas brillantes, sin reacción al HCl, transición gradual y algo regular.
B _{11t}	22-41	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo 2,5YR3/3, rojo oscuro, más arcilloso, estructura de bloques subangulares de mayor tamaño (6-10 cm.), más compactado, y un poco más húmedo, muchos poros finos y medios, con mayor cantidad de caras brillantes, sin reacción al HCl, transición gradual y regular.
B _{12t}	41-64	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo también, más arcilloso, con estructura de bloques angulares, de 5-10 cm., compactado, igual contenido de humedad, muchos poros finos y medios, menos caras brillantes, sin reacción al cha, transición gradual y regular.
B ₂	64-100	Color 2,5YR4/8, rojo, y en húmedo 2,5YR4/6, rojo, arcilloso, estructura de bloques angulares más pequeños y menos estables, ligeramente compactado, más húmedo, con muchos poros finos y medios, sin caras brillantes, sin reacción al HCl.

No. Perfil: 2

Lugar: Área bajo árboles de ficus (Ficus sp.) del INCA, a un costado del edificio de la Dirección del Instituto.

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Clima: Tropical subhúmedo.

Vegetación: Bajo arboleda de ficus (Ficus sp.).

Relieve: Llano menor de 0,5%.

Material de origen: Caliza dura del Mioceno.

Tiempo: Finales del Mioceno principio del Cuaternario.

Clasificación del suelo:

Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado, húmico

WRB: Nitisol húmico-ródico

Soil Taxonomy: Humic Rhodudalf

Descripción del Perfil

Horizonte	Prof. (cm.)	Descripción
O ₁	0-4	Capa de hojarasca seca en descomposición
O ₂	4-6	Capa de MO descompuesta con mezcla de suelo, con palitos, gravitas, muchas hormigas, muy friable, húmedo.
A ₁	6-16	Color en seco 2,5YR3/6, rojo oscuro, y en húmedo, 2,5YR3/4, pardo rojizo oscuro, arcilloso, estructura, nuciforme-granular, ligeramente compactado a friable, ligeramente húmedo, con muchas películas arcillosas, mediana cantidad de poros, muchas lombrices, con gravitas, sin reacción al HCl, con lombrices, gusanos, mancaperro, cucarachones, transición notable y regular.

AB	16-32	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo, 2,5YR3/4, pardo rojizo oscuro, más arcilloso, estructura de bloques angulares casi redondeados, compactados, ligeramente húmedo con caras brillantes, mucha porosidad dentro de los macro agregados, presenta lombrices, con gravitas de caliza, en la parte de los recubrimientos arcillosos la porosidad es poca. Sin reacción al clorhídrico, transición gradual
B _{11t}	32-47	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo, 2,5YR3/6, rojo oscuro, más arcilloso, con estructura de bloques subangulares casi redondeados, compactado, ligeramente húmedo, con menos caras brillantes, poroso, sin reacción al HCl, transición gradual.
B _{12t}	47-65	Color en seco 2,5YR4/8, rojo, y en húmedo 2,5YR3/6, rojo oscuro, compactado, ligeramente húmedo, con menos caras brillantes, buena porosidad y sin reacción al HCl.
B ₂	65- 100	Color en seco 2,5YR4/8, rojo, y en húmedo, 2,5YR 4/6, rojo, arcilloso, ligeramente compactado a friable, ligeramente húmedo, menos recubrimientos arcillosos, mucha porosidad, y sin reacción al HCl.

No. Perfil 3

Lugar: Terrenos del INCA, en el camino hacia la UNAH.

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Clima: Tropical subhúmedo.

Vegetación: Pastos de 5 años, antes cultivado.

Relieve: Llano, menor de 1%.

Material de origen: Caliza dura del Mioceno.

Tiempo: Finales del Mioceno, principios del Cuaternario.

Clasificación del suelo:

Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado típico

WRB: Nitisol ródico-éutrico

Soil Taxonomy: Udic Rhodustalf

Descripción del Perfil

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.(cm.)</u>	<u>Descripción</u>
A ₁₁	0-3	Color en seco 2,5YR3/6, rojo oscuro, arcilloso, estructura granular pequeña, friable, seco, poroso, sin reacción al HCl, transición notable.
A ₁₂	3-19	Color en seco, 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo, 2,5YR3/6, rojo oscuro, arcilloso, con estructura de bloques subangulares de 6-8 cm., compactado, seco, con presencia de cutanes, mediana porosidad, sin reacción al HCl, transición neta.
B _{11t}	19-44	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo, 2,5YR3/6 rojo oscuro, arcilloso, estructura poliédrica, ligeramente ompactado, ligeramente húmedo, mayor cantidad de cutanes, con caras brillantes, muchos poros chicos y medios,cantidad apreciable (5%) de nódulos ferromangánicos, redondeados y suaves, sin reacción al HCl, y transición gradual.
B _{12t}	44-60	Color en seco 2,5YR4/8, rojo, y en húmedo, 2,5YR 4/6, rojo, más arcilloso, con estructura de bloques subangulares de 4-5 cm., ligeramente compactado, ligeramente húmedo, con muchos cutanes, caras brillantes, mayor porosidad (poros finos y medios), con muy pocos nódulos ferromangánicos, sin reacción al HCl y transición gradual.
B _{2t}	60-100	Color en seco 2,5YR4/8, rojo, y en húmedo también, más arcilloso, estructura de bloques angulares de 5-7 cm., menos compactado, un poco más húmedo, con muchos cutanes, muchos poros, casi sin nódulos, sin reacción al HCl.
A _{12p}	12-22	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, en húmedo 2,5YR3/6, rojo oscuro,

No. Perfil 4

Lugar: Finca Las Papas, al lado de siembra de soya, pegado al árbol de mamey.

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Clima: Tropical subhúmedo.

Vegetación: Cultivos intensivos, recientemente soya (*Glycine max* (L.) Merrill).

Relieve: Llano, menor de 1%.

Material de origen: Caliza dura del Mioceno.

Tiempo: Finales del Mioceno, principios del Cuaternario.

Clasificación del suelo:

Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado típico

WRB: Nitisol ródico-éutrico

Soil Taxonomy: Udic Rhodustalf

Descripción del Perfil

Horizonte Prof.(cm.) Descripción

A _{11p}	0-12	Color 10R3/4 rojo opaco, arcilloso, sin estructura, suelto, ligeramente húmedo, muy poroso, algunas gravitas de color oscuro, pedazos de raicillas, reacción al HCl, transición gradual.
A _{12p}	12-22	Arcilloso, sin estructura, friable, ligeramente húmedo, muy poroso, con algunas gravitas de color oscuro, sin reacción al HCl y transición neta.
B _{1t}	22-37	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo 2,5YR4/6, rojo, un poco más arcilloso, estructura de bloques subangulares a poliédricos, compacto, fresco, pocos poros medianos y mediana cantidad de poros finos, con cutanes, muchas gravitas pequeñas, de color negro, redondas, escasas de color blanco, escasas raíces finas, sin reacción al HCl y transición gradual.
B _{21t}	37-50	Color en seco 2,5YR4/6, rojo, en húmedo 2,5YR4/6, rojo, arcilloso, bloques subangulares más grandes, de 7-8 cm. de

B _{22t}	50-62	<p>tamaño, más compacto, fresco, poca porosidad, muchos cutanes, menos gravitas de color oscuro, menos raíces finas, y reacción al HCl y transición gradual.</p> <p>Color en seco 2,5YR4/8, rojo, en húmedo 2,5YR4/6, rojo, arcilloso, bloques angulares, compacto, fresco, mayor cantidad de poros finos, muchos cutanes, sin raíces, sin reacción al HCl.</p>
------------------	-------	---

No. Perfil 5

Lugar: Parcela sembrada de flores (rosal) de varios años en los terrenos del INCA.

Clima: Tropical subhúmedo.

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Vegetación: Cultivo de flores (hace mas de 5 años se siembra de rosas).

Relieve: Llano, menor de 1%.

Material de origen: Caliza dura del Mioceno.

Tiempo: Finales del Mioceno, principios del Cuaternario.

Clasificación del suelo:

Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado típico

WRB: Nitisol ródico-éutrico

Soil Taxonomy: Udic Rhodustalf

Descripción del Perfil

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.(cm.)</u>	<u>Descripción</u>
------------------	-------------------	--------------------

A ₁	0-12	<p>Color en seco 2,5YR4/6, rojo y en húmedo 2,5YR 3/4, pardo rojizo oscuro, arcilloso, estructura de bloques subangulares y angulares pequeños, ligeramente compactado, poroso, medianamente húmedo, con muchas raicillas, con algunas gravitas de carbonato de calcio, sin reacción al HCl, transición neta y regular.</p>
AB	12-26	<p>Color en seco 2,5YR4/6, rojo, y en húmedo 2,5YR3/6, rojo oscuro, un poco más arcilloso, estructura de bloques angulares medianos a grandes, bien definida, compactado, mediana</p>

		cantidad de poros, medianamente húmedo, con pocas raíces, sin reacción al HCl, transición gradual.
B _{1t}	26-50	Color en seco y en húmedo, 2,5YR4/8, rojo, más arcilloso, con cutanes, y caras brillantes, estructura de bloques cúbicos de 5-7 cm, muchos poros finos, muchas caras brillantes, compactado, medianamente húmedo, casi sin raíces, sin reacción al HCl, transición gradual.
B _{2t}	50-85	Color en seco y en húmedo 2,5YR4/8, rojo, arcilloso, estructura no definida, húmedo, con muchos poros finos, sin raíces, muchas caras brillantes, sin gravas, sin reacción al HCl, transición gradual.
B _{3t}	85-100	Color en seco y en húmedo 2,5YR4/8, rojo, arcilloso, estructura poco apreciable, poroso, con poros finos, sin raíces, muchas caras brillantes, sin reacción al HCl.

No. Perfil 9

Proceso de formación: ferralitización , Lixiviación

Horizonte diagnóstico: Ferralítico argílico

Ubicación : Finca Las Papas, al final , en campo preparado y surcado para sembrar yuca

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Forma del relieve: Llano

Topografía del terreno circundante: Llano

Microrelieve : Hay microdepreciones, al parecer por formaciones cárcicas

Vegetación o uso de la Tierra: Cultivos (yuca , frijoles)

Material de Origen : Corteza ferralitizada / Caliza dura

Tiempo : Principios del cretácico

Clasificación del suelo:

Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado típico

WRB: Nitisol ródico-éutrico

Soil Taxonomy: Udic Rhodustalf

Descripción del Perfil

Horizontes Profundidad Descripción

Ap	0-16	Color rojo claro, arcilloso, sin estructura, suelto, muy poroso, seco, con muchos restos de raíces, transición notable.
B1T hpm	16-50	Rojo, mas arcilloso, bloques prismáticos, formando hpm, muy compacto, algunos cutanes, fresco, muy poco poroso, transición notable
B21T	50-69	Rojo oscuro, bloques suabangulares de 4-8 cm, compacto, muchos cutanes, poco poroso, al secarse se endurecen los bloques, húmedo, transición gradual
B22T	69-100	Rojo oscuro, arcilloso, bloques subangulares mas pequeños, compactado, húmedo, mas poroso, con cutanes.

Nota: El horizonte hpm, es un piso de arado donde no hay raíces que lo penetran

No. Perfil 10

Tomado a 50 m del F1, a diferencia de que este estaba húmedo por el riego

Proceso de formación: ferralitización , Lixiviación

Horizonte diagnóstico: Ferralítico argílico

Ubicación : Finca Las Papas, al final , en campo preparado y surcado para sembrar yuca se regó ayer.

Municipio: San José de las Lajas

Provincia : Habana

País: Cuba

Forma del relieve : Llano

Posición fisiográfica del lugar: Parte media de micropendiente

Topografía del terreno circundante: Llano

Microrelieve : Hay microdepreciones, al parecer por fenomenos cárcicas

Pendiente donde se toma el perfil: mayor del 2%

Vegetación o uso de la Tierra: Cultivos (yuca , frijoles)

Material de Origen : Corteza ferralitizada / Caliza dura

Tiempo : Principios del cretácico

Clasificación del suelo:**Cuba:** Ferralítico Rojo Lixiviado típico**WRB:** Nitisol ródico-éutrico**Soil Taxonomy:** Udic Rhodustalf

Descripción del Perfil

Horizontes Prof. (cm) Descripción

Ap	0-18	Pardo rojizo, arcilloso, estructura en bloque subangulares de 4 – 5 cm, se desmoronan fácilmente, ligeramente compactado, , poroso, ligeramente húmedo, pocas raíces, transición neta regular
B11T	18-50	Pardo rojizo, arcilloso, estructura en bloque subangulares de 8 cm, compactado, medianamente poroso, mas húmedo, muchos cutanes, muchas gravitas de color oscuro, concreciones , transición neta.
B12T	50-60	Rojo claro, bloques subangulares de 4 cm , arcilloso , compacto y plástico, medianamente poroso, cutanes , gravitas, sin raíces, transición gradual.
B21T	60-83	Rojo, arcilloso, bloques subangulares de 4-6 cm, ligeramente compactado, mas húmedo, plástico, muy poroso, cutanes, mucho menos gravitas, sin raíces, transición gradual.
B22T	83-100	Rojo, arcilloso, bloques subangulares a poliédrico, menos compactado, húmedo, poco menos poroso, menos gravitas , algunas concreciones, cutanes, sin raíces.

No. Perfil 6**Vegetación:** Bajo plantación de Cítricos de 30 años, con sombra**Proceso de formación:** Ferralitización

Horizonte diagnóstico: Ferralítico

Ubicación : Finca Las Papas,**Municipio:** San José de las Lajas**Provincia:** Habana**País:** CubaFactores de formación**Forma del relieve :** Llano**Topografía del terreno circundante:** Llano

Material de Origen : Corteza ferralitizada / Caliza dura

Tiempo: Principios del cretácico

Clasificación del suelo:

Cuba: Ferralítico Rojo Lixiviado típico

WRB: Nitisol ródico-éutrico

Soil Taxonomy: Udic Rhodustalf

Descripción del Perfil

Horizontes	Prof. (cm)	Descripción
A11	0-3	Capa mulch, granular porosa, 2.5 YR3/6 Rojo Oscuro, suelto, fresco, poroso, transición notable, arcilloso
A12	3-16	10 R 3/6 Rojo Oscuro, arcilloso, bloques subangulares de 3 a 5 cm que se desmenuza fácilmente en una estructura nuciforme granular con muchas raicillas, poroso, algunos cutanes , fuerte actividad biológica, friable, ligeramente húmedo, transición notable.
B1t	16-52	bloques subangulares de 5-8 cm, mas arcilloso 10R 4/6 Rojo, menos cutanes que el horizonte anterior, compactado a compacto, muchos poros finos, raíces gruesas y finas, fresco, transición gradual.
B21t	52-78	10R 4/6 Rojo, mas arcilloso, bloques angulares y subangulares, muchos cutanes, muy poroso, fresco, ligeramente húmedo, raíces gruesas y finas, transición gradual.
B22t	78-105	Bloque angulares , arcilloso 2.5YR 4/6 Rojo, muchos cutanes, buena porosidad, muy pocas raíces, fresco, ligeramente húmedo, compactado.

Nota: En la superficie se observa hojarasca, que cubre el terreno

En primer lugar se destaca que para los 10 perfiles es común el proceso de formación de ferralitización, dado por el color, profundidad y el contenido en bases intercambiables en el horizonte B, que aunque el pH es ligeramente ácido a neutro, caracteriza perfectamente el horizonte principal Ferralítico (Hernández et al., 1999.). Además dentro de la formación de los suelos se diagnostica el proceso de lixiviación hacia el

horizonte Bt (B textural), caracterizado por la textura, estructura y la presencia abundante de sobreescurrecimientos arcillosos o cutanes (Borges, 2004; Morell et al., 2004; Hernández et al., 2005; Hernández y Morell 2005), criterio este complementado por la distribución de la arcilla por el perfil de los suelos, que diagnostica el horizonte normal argílico. Por estos elementos, los 10 perfiles se pueden clasificar como del Tipo Ferralítico Rojo Lixiviado, dentro del Agrupamiento de suelos Ferralíticos (Hernández et al., 1999), que se puede correlacionar con el suelo Nitisol ródico éutrico (Deckers, et al., 1998; Hernández et al., 2004).

Las diferencias están dadas por el tipo de utilización de la tierra y la distribución de los horizontes así como su estructura y compactación.

El perfil 2, bajo plantación de ficus es O-A₁₁-A₁₂-B_t-C, con un contenido de hojarasca y materia orgánica bruta muy descompuesta de 4-6 cm de espesor y horizonte A₁₁ y A₁₂ de color más oscuro y de mayor espesor, con una estructura nuciforme-granular muy bien definida en superficie y consistencia friable.

Por su parte los perfiles 1, 6, 7 y 8 bajo plantaciones de frutales, presenta perfil A₁₁-A₁₂-B_t-C, con ausencia del horizonte orgánico, y el color del horizonte A es oscuro, con una estructura nuciforme-granular también bien manifiesta, y de consistencia friable aunque no tiene para el color oscuro y la estructura buena, el espesor del perfil 2. Los perfiles 3 y 5 son del tipo A-B_t-C, de color más rojo en superficie y más compacto en profundidad.

Finalmente se tiene que los perfiles tomados bajo cultivo intensivo (4, 9, 10), con cerca de 30 años de cultivo intensivo, que aunque son de color rojo y perfil A-B_t-C o BA-B_t-C, en todos los casos presentan en superficie una mezcla de estructura de bloques prismáticos con agregados más finos y un piso de arado muy duro en la parte superior del horizonte B_t.

IV.2 Cambio en el análisis mecánico, de microagregados y del coeficiente de dispersión

Por los resultados de la tabla 1 se observan los datos del análisis mecánico de 7 perfiles. Para ellos le es común la textura arcillosa desde la superficie y el enriquecimiento en arcilla en la parte media-inferior del perfil, lo que diagnostica la presencia de un horizonte normal de diagnóstico argílico, complementando la descripción morfológica de campo. Además resulta significativo el contenido tan bajo en partículas arenosas y limosas, lo que nos indica un grado de intemperismo fuerte, propio de la ferralitización. Por el contenido en arcilla no se puede determinar ningún cambio debido a la influencia antropogénica, ya que esta es una propiedad que cambia en cientos de años y solamente se puede detectar pérdida de arcilla por erosión en caso de suelos sometido a este proceso, generalmente en relieve inestable.

Tabla 1. Análisis mecánico y de microestructura de los perfiles de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados estudiados

Prof., cm.	%tamaño de las fracciones en mm				<0,002 mm	coef. de dispersión	
	2,0-0,2	0,2-0,02	0,02-0,01	0,01-0,002			<0,002 en microag.
Perfil 1 (frutales, mango)							
0-8	1,96	14,0	10,0	7,0	67,04	12,68	18,91
8-22	5,96	13,0	12,0	6,0	63,04	5,38	8,53
22-41	0,96	5,0	5,0	5,0	84,04	5,38	6,40
41-64	1,96	3,0	2,0	8,0	85,04	12,38	14,56
64-100	13,96	10,0	2,0	3,0	71,04	5,38	7,57
Perfil 2 (arboleda de ficus)							
6-16	5,96	12,0	7,0	13,0	62,04	8,15	13,14
16-32	5,96	9,0	13,0	8,0	64,04	7,38	11,52
32-47	1,96	10,0	6,0	11,0	71,04	10,38	11,61
47-65	1,96	4,0	2,0	6,0	86,04	10,38	12,06
65-100	2,96	4,0	7,0	10,0	76,04	7,38	9,71
Perfil 3 (cultivo después pastos)							
0-19	0,61	15,0	13,0	7,64	63,75	17,39	26,1
19-44	0,61	19,0	10,0	9,64	60,75	7,39	12,2

44-60	9,61	14,0	5,0	6,64	64,75	8,39	13,0
60-100	1,61	18,0	2,0	3,64	74,75	18,39	24,6
Perfil 4 (cultivo intensivo)							
0-12	4,24	6,0	13,0	10,0	66,76	35,76	53,57
12-22	2,24	5,0	4,0	7,0	81,76	16,76	20,50
22-37	2,24	4,0	9,0	8,0	76,76	14,76	19,23
37-50	2,24	5,0	4,0	7,0	81,76	14,76	18,05
50-62	5,24	5,0	4,0	5,0	80,76	5,76	7,13
Perfil 5 (hortalizas después flores)							
0-12	13,12	14,0	12,0	7,64	53,24	11,96	22,46
12-26	5,12	16,0	10,0	7,64	61,24	15,96	26,06
26-50	3,12	2,0	3,0	1,64	90,24	---	---
50-85	8,12	2,0	3,0	2,64	84,24	---	---
85-100	7,12	7,0	6,0	3,64	76,24	---	---
Perfil 8 (frutales, guayaba)							
0-12	19,0	10,0	8,0	4,0	59,0	9,16	15,52
12-28	7,0	11,0	5,0	3,0	74,0	11,16	15,50
28-50	10,0	10,0	7,0	2,0	71,0	9,16	12,90
50-70	10,0	4,0	4,0	5,0	77,0	11,16	14,49
Perfil 10 (cultivo intensivo)							
0-20	10,0	2,0	14,0	4,0	70,0	19,63	28,04
20-53	10,0	2,0	11,0	5,0	72,0	17,16	23,83
53-70	7,0	3,0	2,0	6,0	82,0	9,16	11,17
70-90	10,0	4,0	5,0	5,0	76,0	9,16	12,05

Un dato importante es la comparación del contenido en arcilla del análisis mecánico y de microagregados, ya que estos últimos tienden a desintegrarse con la pérdida en el contenido en materia orgánica del suelo por el uso intensivo en la agricultura. Esta comparación permite el cálculo del coeficiente de dispersión del suelo. Este último valor es importante y se observan diferentes valores desde un coeficiente de dispersión bajo (menos de 15-20) en los perfiles bajo arboleda de ficus o frutales, hasta muy alto (alrededor de 50) en los suelos bajo cultivo intensivo. Esto corrobora que el contenido de materia orgánica conjuntamente con el hierro forma microagregados estables en la parte

superior del perfil como parte de la formación natural del suelo y que estos tienden a descomponerse por la influencia antropogénica, cuando el suelo es sometido al cultivo intensivo.

Lo planteado anteriormente coincide con lo expuesto por Orellana et al (1989), donde en estudios similares a los nuestros (Tabla 2), evalúa el estado estructural de un suelo Ferralítico Rojo bajo diferentes condiciones de cultivo (bajo bosque, en condiciones de caña de azúcar en el surco, y en condiciones de caña de azúcar en el camellón) y se obtuvo, que al evaluar el contenido de agregados de mayor valor agronómico (10 – 0.25 mm.), este decrece notablemente en el suelo cultivado con caña de azúcar con respecto al que está bajo bosque.

Como puede observarse en el suelo bajo bosque hay un predominio de agregados de 7 – 2 mm. (57.8%) con una alta porosidad de los mismos (42.6%) y una elevada estabilidad estructural (91.9 %); donde la fracción de 5 – 2 mm, es la más resistente a la acción destructora del agua.

Tabla 2. Composición de macroagregados y agregados estables en agua, de un suelo Ferralítico Rojo (0-20 cm), bajo diferentes condiciones (%). Numerador (Tamizado seco); Denominador (Tamizado húmedo). Orellana et al, (1989).

Fracciones (mm)										Σ	10-0.25 >10+<0.25	P. Media de Agregados . (%)
(%)												
> 10	10-7	7-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	<0.25	Σ 10-0.25	>0.25			
Bajo bosque												
7.2	16.5	18.9	38.8	10.4	4.0	2.6	2.4	90.4			9.4	42.6
		3.1	45.0	16.4	11.9	5.5	18.1		81.9			
Bajo caña (surco)												
3.7	4.7	5.9	24.6	24.8	15.2	11.4	9.4	86.8			6.6	43.3
		0.2	8.2	15.9	29.8	12.4	33.3		66.6			
Bajo Caña (camellón)												
30.9	7.1	5.8	16.9	14.3	9.8	7.5	7.4	61.4			1.8	43.6
									63.0			

Este proceso lleva paralelamente a la destrucción de la estructura de la parte superior del perfil del suelo, que es nuciforme-granular bajo

arboleda de ficus o frutales y se cambia a subangular, incluso con bloques prismáticos en ocasiones en superficie (Foto 1), debido a un proceso de degradación de la estructura como bien ha sido descrito anteriormente. En estas condiciones, cuando se prepara el suelo para la siembra, entonces estos bloques con las aradura surgen a la superficie del suelo y se presenta en superficie una mezcla de material de agregados finos e incluso polvo, con bloques subangulares y prismáticos que son muy duros y compactos.



Foto. 1 Presencia de bloques prismáticos en superficie de un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, ubicado en la Finca Experimental "Las Papas". Municipio San José de Las Lajas. Provincia Habana.

Este proceso de degradación de la estructura en el horizonte húmico acumulativo de estos suelos ocurre en la forma siguiente: Con el cultivo intensivo se degrada la estructura del suelo, se rompen los microagregados y aumenta el factor de dispersión. La arcilla dispersa rellena los poros del suelo y poco a poco se van formando bloques en forma de prismas de 10-20 cm de tamaño. Conjuntamente con esto se

forma un piso de arado en la parte superior del horizonte Bt argílico (Foto 2).



Foto 2. Vista superior de la formación de un piso de arado en la parte superior del horizonte Bt argílico de un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Ubicado en la Finca Experimental "Las Papas". Municipio San José de Las Lajas. Provincia Habana.

IV.3 Comportamiento del peso volumétrico, peso específico y la porosidad total

Los valores que se obtuvieron para la densidad (peso volumétrico) en el campo (Tabla 3) estuvieron acordes a la compactación descrita en la morfología de los perfiles. El perfil 2 bajo plantación de ficus, tiene valores de densidad menores de 1 Mg.m^3 , y se mantiene relativamente bajo este valor hasta la profundidad de 47 cm. Para el caso del suelo bajo plantaciones de frutales la densidad es baja también, aunque aumenta a partir de los 22 cm. Para estos perfiles la densidad disminuye en profundidad, por debajo de 80-100 cm desde la superficie, donde el suelo se hace más friable.

Un caso más diferenciado es el de los perfiles 3 y 5, que estuvieron bajo cultivo y después bajo pastos (perfil 3) y con hortalizas con aplicaciones de cachaza y después flores (perfil 5). En este caso los valores de densidad (peso volumétrico) que se obtuvieron fueron un poco más altos.

El caso más crítico se tiene en los perfiles estudiados bajo cultivo intensivo, en los cuales la densidad alcanza los valores más altos, llegando hasta $1,25 \text{ Mg/m}^3$ en el horizonte Bt con la formación de un piso de arado. Estos valores alcanzan el umbral de la densidad crítica para estos suelos, que se ha determinado que es de $1,25 \text{ Mg/m}^3$ para el cultivo de la caña de azúcar (Roldós, 1986).

Estas diferencias pueden estar dadas por la antropogénesis intensivas en estos suelos, en los cuales no se han hecho labores de subsolación en los últimos 30 años (Martín Bertolí, comunicación personal).

El peso específico o densidad real, tiene un comportamiento similar en los perfiles, algo más alto este valor en superficie en los perfiles 4 y 5. Los valores de la porosidad total, determinados por cálculo a partir de la densidad aparente y la densidad real, son significativos también, según el uso de la tierra, obteniéndose la siguiente secuencia:

Suelo bajo plantación de ficus > suelo bajo plantación de frutales de muchos años > suelo cultivado y después pastos > suelo bajo cultivo intensivo.

Tabla 3. Determinación de la densidad aparente, densidad real y porosidad total de los de los perfiles de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en estudio.

Prof., cm.	Humedad (%)	D.ap. Mg/m ³	D.r. Mg/m ³	Poros. total (%)
Perfil 1 (frutales, mango)				
0-8	35,2	0,98	2,61	62,5
8-22	39,9	1,00	2,72	63,2
22-41	33,4	1,09	2,76	60,5

41-64	32,8	1,04	2,77	62,5
64-100	32,2	1,03	2,78	62,9
Perfil 2 (arboleda de ficus)				
6-16	37,8	0,90	2,61	65,5
16-32	30,0	1,05	2,76	62,0
32-47	27,6	1,03	2,78	62,9
47-65	24,2	1,05	2,77	62,1
65-100	26,9	1,03	2,74	62,4
Perfil 3 (cultivo después pastos)				
0-19	27,9	1,11	2,71	59,0
19-44	30,6	1,17	2,71	56,8
44-60	32,1	1,10	2,74	59,9
60-100	33,8	1,10	2,77	60,3
Perfil 4 (cultivo intensivo)				
0-12	33,3	0,89	2,80	68,2
12-22	34,5	1,01	2,80	63,9
22-37	33,5	1,17	2,76	57,6
37-50	37,4	1,13	2,78	59,4
50-62	42,8	1,06		
Perfil 5 (hortalizas después flores)				
0-12	32,7	1,11	2,80	60,4
12-26	34,0	1,15	2,80	58,9
26-50	34,3	1,12	2,76	59,4
50-85	34,3	1,15	2,78	58,6
85-100			2,82	
Perfil 8 (frutales, guayaba)				
0-12	67.84	1.08	2.68	59.8
12-28	68.47	1.15	2.72	57.7
28-50	61.53		2.72	
Perfil 6 (frutales, cítricos)				
0-3				
3-16		0.95	2.64	64,0
16-52		1.10	2.67	58,8
52-78		1.11	2.67	57,4
78-105		1.12	2.67	58,1
Perfil 9 (cultivo intensivo)				
0-16		1.10	2.61	58,0
16-50		1.15	2.66	57,0

50-69		1.17	2.68	56.0
69-100		1.14	2.77	58,9
Perfil 10 (cultivo intensivo)				
0-18		1.10	2.63	58.2
18-50		1.18	2.66	55,6
50-60		1.25	2.64	52,6
60-83		1.13	2.60	56,5
83-100		1.10	2.70	59,3

Los resultados obtenidos demuestran que por la utilización de los suelos FRL en la agricultura, empeora la estructura del horizonte húmico acumulativo, se aumenta la compactación y se disminuye su fertilidad, siendo los cambios más significativos en los primeros 30-40 cm del espesor superior del perfil del suelo. Resultados semejantes con relación a la compactación del suelo fueron determinados también por Frómata (1998) y Alfonso (2002); (Tabla 4).

Tabla 4. Cambios en algunas propiedades en el Horizonte A de los suelos Ferralíticos Rojos (Ferralsoles ródicos-éutricos), de provincia Habana, Cuba (Alfonso, 2002)

Cultivo y años	M. O. (%)	Densidad (Mg.m3)	Estabilidad de los agregados (%)			
			Agua	Alcohol	Benceno	Evaluación
Frutales (40 años)	4,77	1,05	89,2	81,4	16,4	Muy Estable
Caña Azúcar (17 años)	3,07	1,12	72,4	36,6	2,2	Estable
Papa y hortalizas (7 años, La Reneé)	2,60	1,15	70,0	24,5	1,8	Medianamente Estable
Idem (26 años, ECV 19 deAbril)	2,27	1,18	60,8	20,0	1,4	Inestable
Idem (38 años, ECV 19 de Abril)	1,40	1,20	40,6	14,0	1,0	Inestable

IV. 4 Cambio del contenido de materia orgánica, pH y bases intercambiables por la influencia antrópica

Por los datos de la tabla 5, se destaca en primer lugar la disminución en el contenido en materia orgánica en los perfiles cultivados. Hay un máximo en el suelo bajo arboleda de ficus (algo mayor de 9%, perfil 2), que hoy día es muy raro encontrar en estos suelos, siguiendo en ese orden los perfiles de suelos con frutales (perfiles 1 y 8) y los suelos bajo pastos (perfil 3) que estuvieron inicialmente cultivados y finalmente los suelos que han estado con cultivo intensivo (perfiles 4 y 10), en los cuales la materia orgánica tiene un contenido menor de 2%. Resultados similares son presentados en la tabla 3, obtenidos por Alfonso (2002).

Los perfiles 3 y 5, aunque han estado bajo cultivo, tienen un contenido de materia orgánica entre 3 y 4%, esto es debido a que en el perfil 3 después de cultivado estuvo 5-7 años con pastos y el perfil 5, cuando se sembró de hortalizas se le hizo aplicaciones de cachaza.

Para todos los perfiles el pH es cerca de neutro en superficie y por debajo de 40-50 cm es menor de 6. En cuanto al contenido de bases intercambiables se refiere, los horizontes superficiales tienen valores mayores en la suma de bases intercambiables, siendo mucho más alto en el perfil bajo arboleda de ficus, por el aporte de calcio y magnesio de las hojas en el ciclo biológico de las sustancias. Partiendo de este perfil encontramos una regularidad en el contenido en bases intercambiables, siguiendo en cantidad los perfiles bajo frutales, siendo mucho más bajo en los perfiles de suelos cultivados intensamente.

El contenido tan alto en bases cambiables en el perfil bajo ficus es debido al ciclo biológico de las sustancias que aporta una cantidad enorme de hojarasca, con la formación de un horizonte orgánico (O) en la parte superior del perfil, lo que lo diferencia de los anteriores.

También ocurre este reciclaje de nutrientes aunque en menor escala en los suelos bajo frutales (perfiles 1 y 8).

Tabla 5. Determinación del contenido en materia orgánica y algunas características físico-química de los perfiles de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados estudiados.

Horiz	Prof. (cm.)	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	Cationes cambiabiles (c mol. kg ⁻¹)				
				Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Suma
Perfil 1 (frutales, mango)								
A11	0-8	6.99	3.55	19.7	2.8	0.5	0.5	23.5
A12	8-22	6.05	3.12	12.6	1.7	0.3	0.1	14.7
B11t	22-41	5.12	1.38	8.8	1,0	0.2	0.1	10.1
B12t	41-64	5.26	0.7	8,0	0.8	0.2	0.1	9.1
B2	64-100	5.34	0.5	7.3	0.7	0.2	0.1	8.3
Perfil 2 (arboleda de ficus)								
A1h	6-16	7.27	9.19	27,0	2.4	0.5	0.9	30.8
AB	16-32	7.16	2.71	13.7	1,0	0.2	0.5	15.4
B11t	32-47	6.41	2.34	12.6	0.9	0.2	0.3	14,0
B12t	47-65	5.54	1.38	11,0	0.8	0.2	0.2	12.2
B2t	65-100	5,70	1.07	10.2	0.8	0.2	0.2	11.4
Perfil 3 (cultivo después pastos)								
A1	0-19	7.34	3.67	16.3	2.1	0.2	0.9	19.5
B11	19-44	6.85	-	13.4	2.8	0.2	0.5	16.9
B12	44-60	6.72	2,00	9.5	1.5	0.2	0.3	11.5
B2t	60-100	5.77	1.12	8.3	1,0	0.2	0.2	9.7
Perfil 4 (cultivo intensivo)								
A11p	0-12	7,50	1,61	15,0	2,0	0,1	0,5	17,6
B11t	12-22	7,40	1,67	15,5	2,5	0,1	0,5	18,6
B12t	22-37	6,90	1,93	15,5	2,5	0,1	0,3	18,4
B21t	37-50	7,00	1,15	15,5	3,0	0,1	0,2	18,8
B22t	50-62	7,00	0,28	10,0	2,5	0,1	0,1	12,7
Perfil 5 (hortalizas después flores)								
A1	0-12	7,60	3,33	17,3	4,4	0,1	0,9	22,7
AB	12-26	7,50	2,35	17,0	3,0	0,1	0,1	20,2

B1t	26-50	7,00	0,54	10,0	4,0	0,1	0,1	14,2
B21t	50-85	7,10	0,60	8,6	5,0	0,1	0,2	13,9
B3	85-100	7,00	0,85	12,1	5,4	0,1	0,2	17,8
Perfil 8 (frutales, guayaba)								
A1	0-12	6.50	3.58	13.8	2.9	0.2	0.9	17.8
B1	12-28	6.40	2.70	10.0	3.5	0.1	0.3	13.9
B2	28-50	6.50	0.55	9.7	3.7	0.1	0.2	13.7
B3	50-70	6.60	0.45	9.0	4.2	0.1	0.6	13.9
Perfil 10 (cultivo intensivo)								
BA	0-20	6,90	1,51	8.6	3.8	0.1	1.3	13.8
B1	42-53	6,90	1,17	8.8	4.1	0.1	0.7	13.7
Bt2	53-70	5,50	0,45	7.5	2.2	0.1	0.3	10.1
B3	70-90	5,90	0,50	13.4	3.4	0.1	0.5	17.4

Después de hacer el análisis detallado de la morfología de los suelos, la textura, microagregados y factor de dispersión, densidad aparente y porosidad total y el contenido en materia orgánica y suma de bases intercambiables en los perfiles estudiados, se puede concluir lo siguiente:

- Por sus características morfológicas, hay 4 variantes de suelos; en la variante del perfil 2, bajo plantación de ficus, el suelo está más conservado, más oscuro y menos compacto, y a medida que aumenta la intensidad de su utilización en la agricultura, se va perdiendo el contenido de materia orgánica por mineralización y rotura del ciclo biológico de las sustancias, volviéndose el suelo de un color más rojo desde la superficie, perdiendo su estructura original nuciforme-granular y la consistencia friable, hasta llegar a tener un suelo degradado (variante 4, con los perfiles 4, 9 y 10), con

manifestación de estructura de bloques subangulares y prismáticos en superficie y formación de piso de arado, con lo que debe cambiar también las propiedades físico mecánicas y de fertilidad del suelo con la influencia antropogénica.

- Se puede concluir además, que los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados bajo plantación de ficus o de frutales, tienen un nivel de microagregación alto, con un coeficiente de dispersión muy bajo a bajo, y que a medida que el suelo cambia por el uso, disminuye el contenido en materia orgánica, disminuye la formación de microagregados y por tanto aumenta el coeficiente de dispersión del suelo.
- Por la influencia antrópica en estos suelos se llega a formar un piso de arado que limita la profundidad efectiva de los suelos, muy duro y compacto en época de seca.
- Finalmente se debe subrayar que el perfil de suelo 2, bajo arboleda de ficus, representa la formación natural del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado bajo bosques naturales, que hoy día se clasifica como húmico o humificado y que sirve como patrón para estudiar todos los cambios en tiempo y espacio que ocurren en este tipo de suelos, en condiciones tropicales, desde la etapa de la colonización española. Encontrar un paño de tierra en estas condiciones naturales en la llanura roja Habana Matanzas, hoy día es muy difícil, por esto se piensa que esta pequeña parcela, en las áreas del INCA, constituye una reserva natural que aunque pequeña, resulta de gran importancia para el estudio de las

transformaciones de las propiedades de este suelo en condiciones tropicales.

IV. 5 Características biológicas de los suelos

Con el objetivo de estudiar como se encontraban las poblaciones microbiológicas en los diferentes suelos en estudio, según el grado de influencia antrópica al cual estaban sometidos, se tomaron tres suelos representativos, (P1) suelo bajo arboleda de mango (perfil P1); suelo bajo arboleda de ficus (perfil P2); y suelo bajo cultivo intensivo (perfil P4) de los 10 en estudio, a los cuales se realizan una serie de estudios microbiológicos, como son la microbiota total, también la actividad micorrízica mediante la extracción de esporas nativas de los HMA, el conteo de micelios, colonización micorrízica y extracción de glomalina. Los resultados se expresan a continuación.

IV.5 a Microbiota total

En la Tabla 8 se puede observar los datos de la "Microbiota Total" encontrada en los diferentes estadios del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado estudiado, (perfil P2), conservado (arboleda de ficus); (perfil P1), medianamente conservado (arboleda de mango) y perfil P4), suelo agrícola (Cultivo intensivo).

Las poblaciones presentes en este tipo de suelo con mayor incidencia son las Bacterias totales, Pseudomonas y Levaduras, en el orden de 10^6 , siguiéndoles de manera decreciente, los hongos Filamentosos (10^3), y Azospirillum, Rhizobium y Actinomicetos (10^2). No se pudo apreciar un patrón definido de comportamiento en la distribución microbiana de acuerdo al grado de degradación del suelo, apreciándose irregularidades en la presencia o distribución de la microbiota nativa en los suelos

estudiados, aunque existen autores como Martínez et al, (1982), la cual plantea la importancia de la presencia materia orgánica en las poblaciones microbianas al evaluar la actividad de la ureasa e invertasa en los principales suelos de Cuba, que son enzimas que se encuentran en el suelo como producto de la actividad vital de la flora microbiana, y su presencia iba a estar estrechamente relacionada con la cantidad de materia orgánica presente en esos suelos.

Un suelo bajo un bosque natural o arboleda presenta determinadas condiciones en cuanto a clima del suelo, estado estructural del mismo, cantidades de materia orgánica producto del gran aporte que realizan las hojas de los árboles, la cual es de vital importancia para la estructuración del suelo, como para la nutrición de los microorganismos. A medida que interviene la acción antrópica a través de la deforestación, cambia el régimen hídrico y térmico de los suelos, su fertilidad y la biodiversidad general del ecosistema, lo que repercute grandemente en las poblaciones microbianas de este suelo que ha sido transformado, disminuyendo esta considerablemente, y si además se le añade la aplicación de paquetes tecnológicos con altos insumos y empleo irracional de la maquinaria trae consigo el empobrecimiento de estas poblaciones.

Tabla 8. Microbiota total nativa presente en la capa superficial (0-20 cm.) de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados utilizados en el experimento bajo condiciones controladas.

Medios	Suelos empleados		
	Arboleda de ficus	Arboleda de mango	Cultivo intensivo
microbiota total	3,8*10 ⁶	3,2*10 ⁶	3,6*10 ⁶
Rosa bengala (Hongos)	6.2*10 ³	6,9*10 ³	5,8*10 ³
Rojo Congo (Azospirillum)	3,5*10 ²	4,2*10 ²	3.0*10 ²
K.B. (Pseudomona)	2,9*10 ⁶	5,2*10 ⁶	2,8*10 ⁶
YMA (Rhizobium)	2,9*10 ²	2.1*10 ²	1,5*10 ²

Medios	Suelos empleados		
	Arboleda de ficus	Arboleda de mango	Cultivo intensivo
SYP (Levaduras)	2,9*10 ⁶	2.8*10 ⁶	3.1*10 ⁶
CAA (Actinomicetos)	2*10 ²	3,9*10 ²	2,5*10 ²

IV. 5 b Extracción de esporas de los suelos en estudio

En las tablas 9, 10 y 11 se presentan los valores de esporas por tipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) encontrados en cada uno de los perfiles de suelo estudiados. En este caso no solo se aprecia una tendencia a la disminución en las cantidades totales de esporas a medida que el perfil de suelo es más degradado (P2>P1, > P4), sino también se vio afectada la abundancia de especie.

En el perfil con mayor grado de conservación (P2), se pudo observar la presencia de tres tipos de hongos, Glomus, Acaulospora y Sclerocystis, esta última ausente en los perfiles P1 y P4.

Otro aspecto interesante encontrado fue la diferencia en la viabilidad de especies en cada uno de los sitios analizados. En el caso del suelo más conservado, no se aprecian esporas necrosadas, sin embargo, en los otros dos perfiles, éstas constituyen más del 60 % de la población de Glomales cuantificada, lo cual pudiera constituir un resultado de una elevada mesofauna o población de depredadores naturales como nemátodos, collembollas, etc.; que pudieran estar afectando el desarrollo de los HMA naturales bajo esas condiciones.

Tabla 9. Conteo de esporas nativas de la capa superficial (0-20 cm.) del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado bajo arboleda de ficus (P2).

individuo	Cantidad R1	Cantidad R2	Media
Glomus sp 1 (hialino)	8	5	6.5
Sclerocystis sp1	7	15	11
Glomus sp2 (amarrillo)	25	20	22.5
Acaulospora sp1	18	40	29
Glomus sp3 (Modicella like)	90	90	90
Total	148	170	159

R1y R2: Réplicas utilizadas

Tabla 10. Conteo de esporas nativas de la capa superficial (0-20 cm.) del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado bajo arboleda de mango (P1)

Individuo	R1	R2	media
Esporas necrosadas	113	61	87
Glomus sp4	47	44	45.5
Acaulospora sp 2	1	0	0.5
Gigaspora sp1	0	2	1
Total	161	107	134

R1y R2: Réplicas utilizadas

Tabla 11. Conteo de esporas nativas de la capa superficial (0-20 cm.) del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado bajo cultivo intensivo (P4)

Individuo	R1	R2	Media
Esporas necrosadas	87	53	70
Glomus sp5	26	19	22.5
Acaulospora sp3	24	16	20
Gigaspora sp 2	8	2	5
Total	145	90	117.5

R1y R2: Réplicas utilizadas

IV.5 c Conteo de micelio

En la Tabla 12 se presentan los resultados del conteo de micelios totales de HMA en cada uno de los suelos estudiados. Para esta variable

se encontraron resultados muy similares a los hallados anteriormente en relación con la cantidad de esporas por tipo de hongos presentes en los suelos, es decir la concentración de micelio externo arbuscular en un mismo tipo de suelo, pero con niveles de degradación diferentes, también sufre variaciones con relación a las condiciones químicas - físicas y biológicas en donde se desarrolla.

En este caso se aprecian valores muy similares en los dos primeros perfiles de suelo, es decir en el suelo natural (perfil P2) y el medianamente conservado (perfil P1), disminuyendo a la mitad, hacia el suelo más degradado (perfil P4). Este fenómeno está muy relacionado con la abundancia de especies en los suelos, a medida que disminuyen las poblaciones, pudieran verse afectadas las concentraciones de micelio, lo cual pudo ser observado en las tablas anteriores.

Resultados que pueden explicar el alto número de propágulos en estos suelos conservados, son los encontrados por Herrera et al (1993), el cual plantea que en estos lugares la mayoría de las especies son heliófilas y presentan tasas fotosintéticas muy altas, lo cual garantiza una producción de fotosintatos suficiente para satisfacer las necesidades de la planta hospedera y el hongo, el cual puede destinarlos a la producción de esporas y micelio extramático

Esto puede ser corroborado con mayor claridad al observar los datos obtenidos en las Tablas 1, 3 y 5 donde se muestran los resultados de coeficiente de dispersión, que van desde 18.91% en el suelo conservado (P1), hasta 53.57 % en el suelo bajo cultivo intensivo (P4), lo que expresa la dispersión de las arcillas presente en este suelo; el peso volumétrico, desde 0.90 Mg/m³ (P2), a 1.17 Mg/m³ guardando este también estrecha relación con la estructura del suelo y porcentaje de materia orgánica, de 9.18% (P2) a 1.161% (P4) expresando estos una tendencia marcada en cuanto al detrimento de las propiedades de estos

suelos a medida de que es mayor la acción antrópica en ellos, propiedades que están en proporción directa con la presencia y abundancia de micelio micorrízico , y microbiota en general.

Tabla 12. Conteo de micelios totales de HMA de la capa superficial (0-20 cm.) de los suelo Ferralíticos Rojos Lixiviados en cada uno de los suelos estudiados.

Perfil	I	II	III	IV	media	FC(0.000745)
Arboleda de Ficus	39	48	45	51	45.75	0.03408375
Arboleda de mango	46	43	56	43	47.75	0.03557375
Cultivo intensivo	14	26	11	23	18.5	0.0137825

IV.5 d Colonización micorrízica

Al analizar la colonización micorrízica, así como la intensidad de la misma y el peso del endófito arbuscular (Tabla 13), se pone de manifiesto un comportamiento similar al encontrado para las variables anteriormente evaluadas.

En este caso los mayores valores micorrízicos aparecen en los suelos mas conservados, y decrecen a medida que estos suelos se degradan. También disminuyen marcadamente sus contenidos fúngicos en el interior radical.

Este resultado se aprecia con mayor claridad en los contenidos de densidad visual y peso de endófito, variables que expresan no solo la presencia del simbiote, sino la intensidad de la colonización. Se pudo constatar que en el suelo mas conservado aparece una fuerte presencia fúngica y un elevado peso de endófito, el cual va disminuyendo a medida que se van degradando el suelo por el efecto antropogénico, lo

cual es un indicativo de la pérdida de la actividad micorrízica natural de estos suelos.

Tabla 13. Resultado de la tinción de raíces efectuada a plantas presentes en los suelos en estudio

Muestra	Peso en (mg)	0	1	2	3	4	5	% de infección	Densidad visual	Peso del endófito
Arboleda de ficus	1446,8	5	10	15	35	25	10	95	19,525	282,4877
		2	6	10	30	35	17	98	25,46	368,3552
Arboleda de mango	244,4	34	12	19	28	7	0	66	7,3725	18,01839
		25	16	25	23	11	0	75	8,255	20,17522
Cultivo intensivo	285,4	86	7	3	3	1	0	14	0,965	2,75411
		82	6	8	4	0	0	18	0,88	2,51152

IV. 5 e Extracción de glomalina

Finalmente y a modo de comprobación, se presentan los resultados del análisis de la glomalina, glicoproteína soluble específica de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (Tabla 14), la cual esta estrechamente relacionada, conjuntamente con el micelio fúngico y las raíces de las plantas, con la formación de agregados, con la conjunta mejora de la estructura en los suelos (Olivé et al., 1999; Whright. et al., 1999, 2000, 2002). Aquí también pudo ser observada una fuerte tendencia a la disminución a medida que los perfiles de suelos analizados estaban menos conservados, resultado que corrobora lo anteriormente expuesto.

En esta variable se pudo constatar elevadas concentraciones en el suelo natural (perfil P2) y una sensible disminución hacia el suelo mas degradado (perfil P4), es decir en condiciones agrícolas de cultivo intensivo, lo cual esta muy relacionado, no solo con las poblaciones de

HMA, sino también con la actividad micorrízica encontrada en estas condiciones, que ha sido baja para todos las variables analizadas.

Tabla 14. Determinación de la extracción de glomalina presente en los suelos en estudio

Muestras	Glomalina total (mcg/ml)	Glomalina fácil extraíble (mcg/ml)
Perfil P-2 Arboleda de ficus	8.739	6.054
	8.492	3.198
	8.79.6	7.597
	8.206	7.368
Media	8.55	6.054
Perfil P-1 Arboleda de mango	7.508	1.999
	7.387	1.865
	6.226	2.303
	7.254	2.284
Media	7.09	2.11
Perfil P-4 Cultivo intensivo	2.265	1.256
	2.913	2.475
	3.351	3.160
	3.122	1.485
Media	2.91	2.094

IV. 6 Resultados del experimento en condiciones semicontroladas

Esta parte del estudio se llevó acabo en macetas. Contando ya con la caracterización físico – química de los suelos, se procedió a determinar la composición química del humus de lombriz (Tabla 6), y de la mezcla del suelo más el humus para cada variante de suelo estudiada (Tabla 7.), que complementan los análisis de los suelos.

Tabla 6. Composición química del Humus de Lombriz empleado en el experimento bajo condiciones controladas.

	(%)									
	Na	K	Ca	Mg	P	M.O	C	N	C/N	pH
Base seca	0.06	0.57	4.5	1.93	0.79	69.3	40.02	1.91	21.0	7.9
Base húmeda	0.03	0.25	2	0.86	0.35	31	18	0.85	21.2	

Tabla 7. Composición química de la mezcla de la capa de suelo (0-20 cm.) más el humus de lombriz empleado en el experimento bajo condiciones controladas.

Muestra	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	P (ppm)	M.O (%)	pH
Arboleda de mango	0,54	0,08	37,8	6,5	630	5,6	7,8
Arboleda de mango	0,43	1,17	22,7	6,9	400	5	7,9
Cultivo intensivo	0,54	0,17	27,9	4,6	800	3,9	8,2

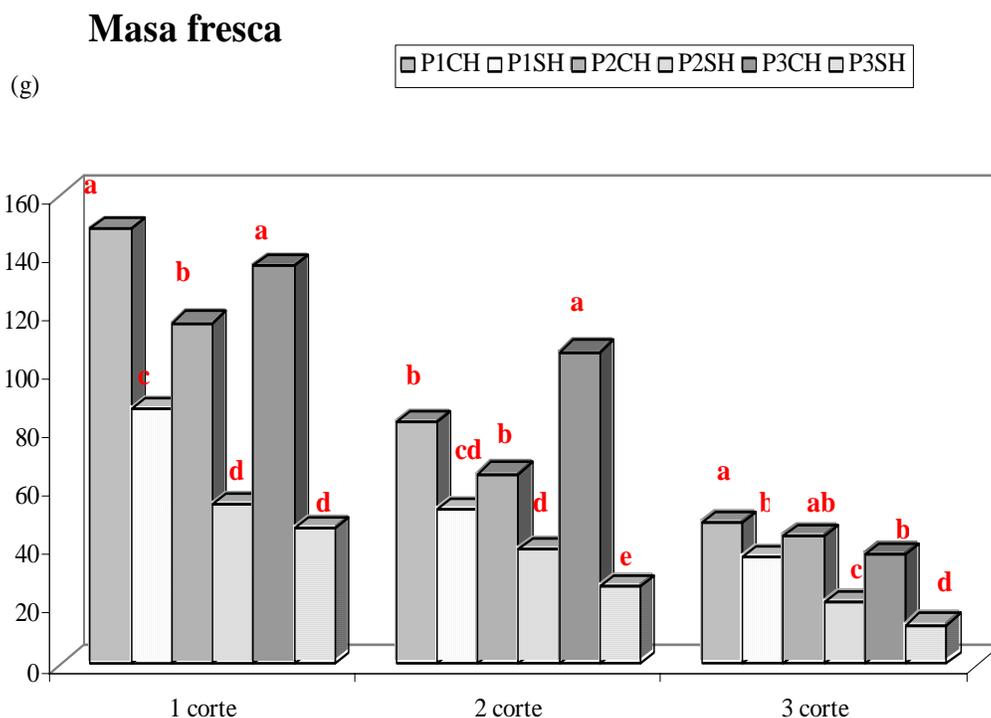
A continuación se muestran los resultados obtenidos del experimento realizado bajo condiciones semicontroladas, con el objetivo de evaluar la respuesta agroproductiva de las tres variantes de suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (Perfil P1, Perfil P2 y Perfil P4), ante la aplicación de una enmienda orgánica.

IV. 6 a Masa fresca

En los análisis realizados a los resultados de los valores del experimento en macetas se determinó que existe, de manera general, interacción entre los factores estudiados.

En la grafica 1 se muestran los resultados de los valores de masa fresca obtenidos del experimento en macetas. En la misma se puede observar que en el primer corte, el suelo bajo arboleda de ficus (perfil P2), con la aplicación de la enmienda orgánica, en este caso humus de lombriz, presenta diferencias significativas con respecto al suelo bajo arboleda de mango (perfil P1), no presentando diferencias con el suelo bajo cultivo intensivo (perfil P4).

Gráfica 1. Resultado de los valores de masa fresca de los suelos en estudio para las tres evaluaciones realizadas (Letras diferentes en cada corte difieren significativamente según dócima de Duncan para un nivel de confianza del 95 %..)



Leyenda

- P1 CH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de ficus con humus de lombriz
- P1SH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de ficus sin humus de lombriz
- P2CH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de mango con humus de lombriz
- P2SH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de mango sin humus de lombriz
- P3CH: Tratamiento de suelo bajo cultivo intensivo con humus de lombriz
- P3SH: Tratamiento de suelo bajo cultivo intensivo sin humus de lombriz

El hecho de que el suelo bajo cultivo intensivo (perfil P4), con la variante de humus de lombriz haya presentado mayor respuesta que el suelo bajo arboleda de mango (perfil P1), en cuanto al valor de masa fresca, partiendo de que este suelo presenta los índices más bajos en cuanto a estado de conservación se refiere, **puede deberse** a que exista presencia en el de residuos de una fertilización anterior, producto

de un cultivo precedente, que conjuntamente con la acción de la materia orgánica, potencien los rendimientos del cultivo.

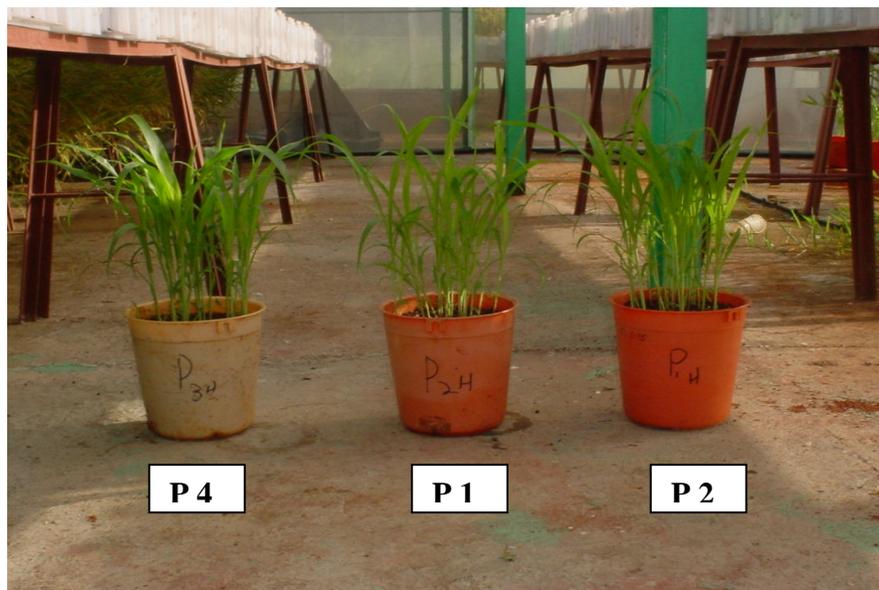


Foto 3. Efecto de los suelos en estudio con la aplicación de humus de lombriz a las plantas de Sorgo. (1^{er} corte).

Situación similar se obtiene al evaluar los resultados del segundo corte para masa fresca, donde la persistencia de la dominancia del suelo bajo cultivo intensivo (perfil P4) sobre los restantes suelos por la hipótesis de la residualidad de presencia de fertilizantes minerales aún es mantenida, debe tenerse en cuenta que el tiempo transcurrido entre el primer corte y el segundo es relativamente corto (1 mes de diferencia), por lo que las plantas no han tomado todo el fertilizante presente en el suelo. A pesar de esto los valores del suelo bajo arboleda de ficus continúan siendo elevados con respecto a los obtenidos bajo arboleda de mango.

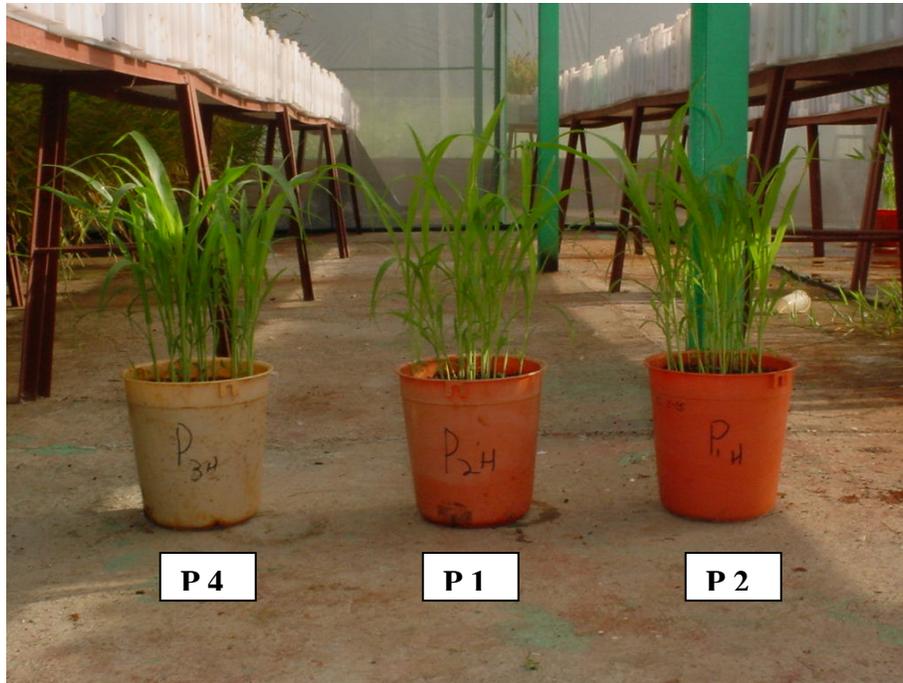


Foto 4. Efecto de los suelos en estudio con la aplicación de humus de lombriz a las plantas de Sorgo. (2^{do} corte).

Al evaluar el tercer corte realizado para la masa fresca a dicho experimento se obtienen los mejores resultados para el suelo bajo arboleda de ficus (P2), existiendo diferencias significativas con respecto suelo bajo cultivo intensivo (P4) no siendo así para el suelo bajo arboleda de mango (P1), aunque presenta valores superiores al mismo, aspecto que se aprecia con mayor claridad al observar la foto 5.

Lo planteado anteriormente concuerda con los resultados obtenidos de las caracterizaciones química- físicas y biológicas descritas anteriormente de los suelos en estudio, (Tablas 1, 3 y 5) donde las mejores propiedades en cuanto a estado conservacional de los suelos se refiere, se presenta la secuencia siguiente: Suelo bajo arboleda de ficus (P-2) > suelo bajo arboleda de mango (P1) > suelo bajo cultivo intensivo (P4).

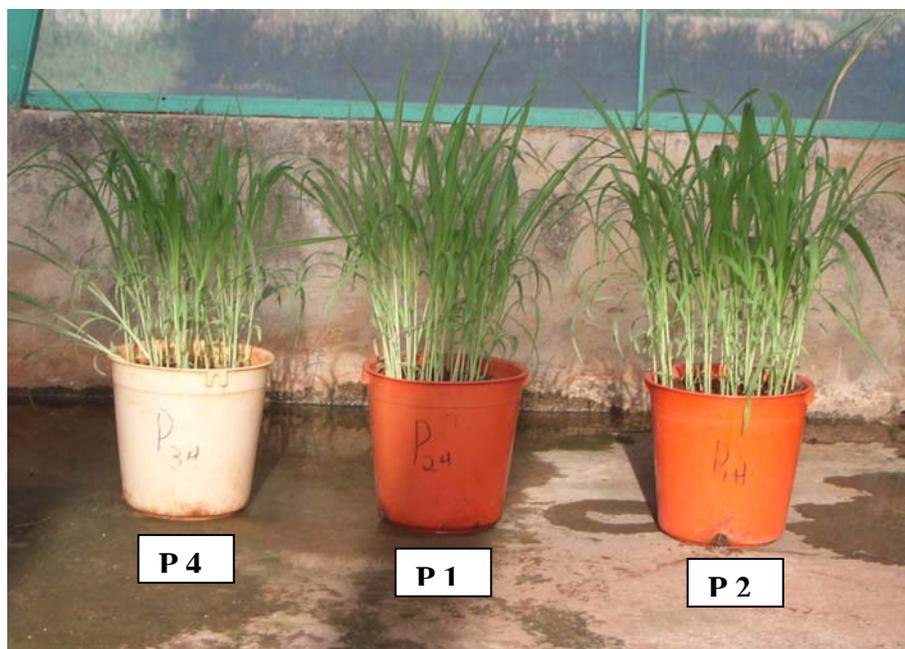


Foto 5. Efecto de los suelos en estudio con la aplicación de humus de lombriz a las plantas de Sorgo. (3^{er} corte).

Aquí ya se observa que las reservas de nutrientes presentes en el suelo bajo cultivo intensivo (P4), no son suficiente ya para mantener un rendimiento adecuado del cultivo producto fundamentalmente de bajo estado de conservación en que se encuentra dicho suelo, tanto química-físicas como biológicamente, en contraste con los suelos bajo arboleda de ficus (P-2) y bajo arboleda de mango (P-1). Además **es posible** de que producto del transcurso del tiempo, se han agotado ya las reservas de fertilizantes minerales (fundamentalmente nitrógeno) que presentaba este suelo producto de una fertilización mineral de un cultivo precedente.

En la evaluación de la masa fresca para el caso de no aplicación de humus de lombriz, se muestra que de manera general el suelo bajo arboleda de ficus (P-2) en las tres evaluaciones o cortes realizados, presenta diferencias significativas con los restantes suelos, obteniendo los valores más elevados en cuanto a materia fresca se refiere. De esta misma manera el suelo bajo arboleda de mango (P-1) también difiere

significativamente del suelo bajo cultivo intensivo (P-4), lo que concuerda con lo planteado anteriormente, donde se pone de manifiesto los mayores valores en cuanto a fertilidad y productividad de estos suelos con respecto al suelo bajo cultivo intensivo (Tablas 1, 3 y 5), estos aspectos se observan con mayor claridad de las fotos 5, 6 y 7.

Lo planteado anteriormente se evidencia al apreciar la foto 6 donde observamos en el tercer corte realizado al cultivo, un detrimento o pérdida de coloración producto de una pérdida de nutrientes (fundamentalmente nitrógeno) para las plantas del suelo bajo cultivo intensivo (P-4), con respecto a la coloración aún existente en los restantes suelos sin la aplicación de humus de lombriz



Foto 6 Pérdida de nutrientes en las plantas del suelo bajo cultivo intensivo (P4), sin la aplicación de humus de lombriz en el tercer corte realizado. Se observa una clorosis marcada, la cual esta inducida fundamentalmente por la escasez de nitrógeno fundamentalmente presente en el suelo bajo cultivo intensivo por más de 30 años.

En este ocasión no se pone de manifiesto la acción del efecto residual de los fertilizantes minerales para el caso del suelo bajo cultivo intensivo (P4), lo que puede deberse a que en este caso al no realizarse la aplicación de materia orgánica no se presente en esta ocasión un efecto aditivo de los fertilizantes minerales con la materia orgánica, lo que propició en los cortes anteriores un aumento en el desarrollo del cultivo, trayendo consigo un incremento en los valores de masa fresca.

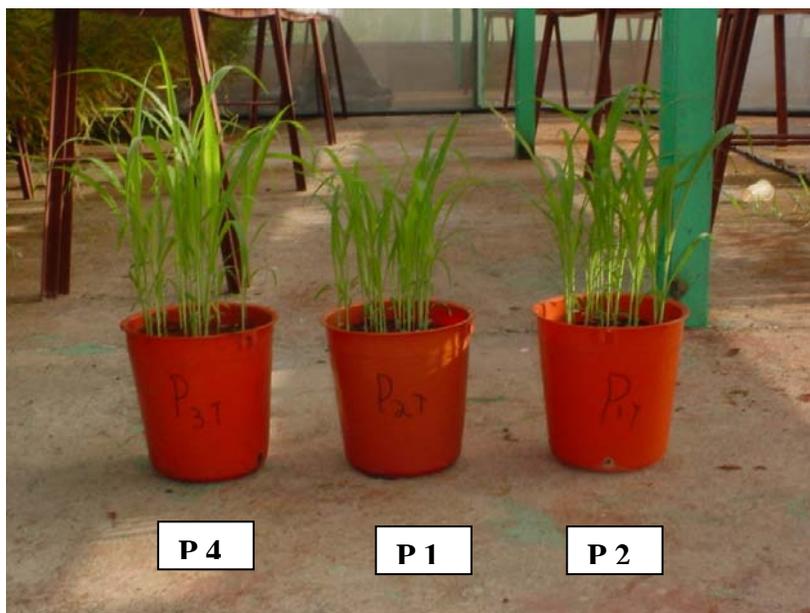


Foto 7. Efecto de los suelos en estudio sin la aplicación de humus de lombriz a las plantas de Sorgo. (1^{er} corte).

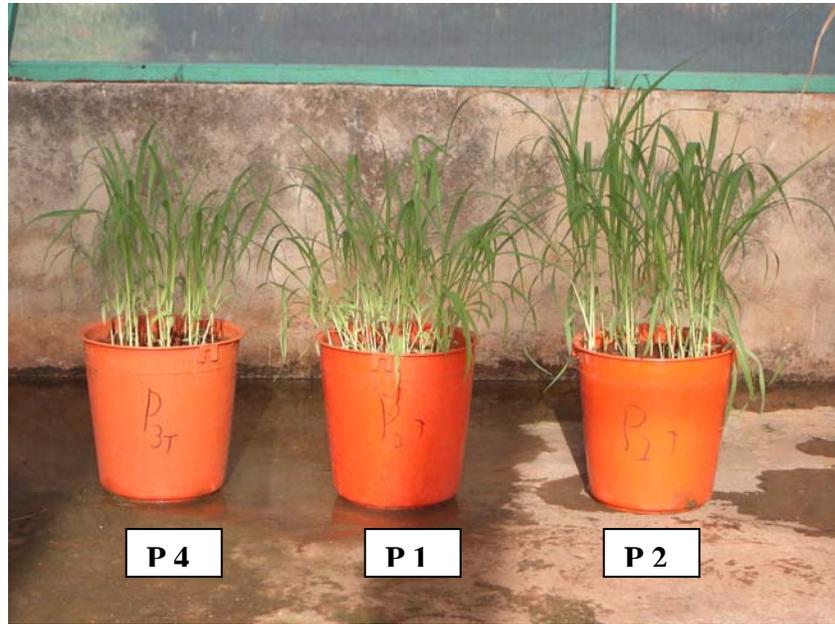


Foto 8. Efecto de los suelos en estudio sin la aplicación de humus de lombriz a las plantas de Sorgo. (2^{er} corte).

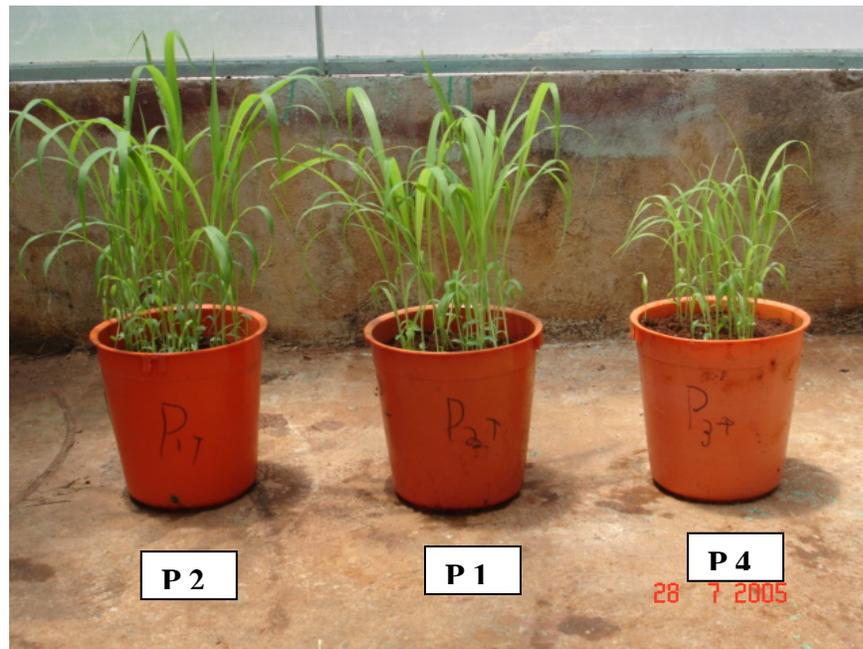


Foto 9. Efecto de los suelos en estudio sin la aplicación de humus de lombriz a las plantas de Sorgo. (3^{do} corte).

Esto reafirma lo planteado por diversos autores como Peña et al (1988); Martínez et al (2003), los que expresan que tanto el volumen de los

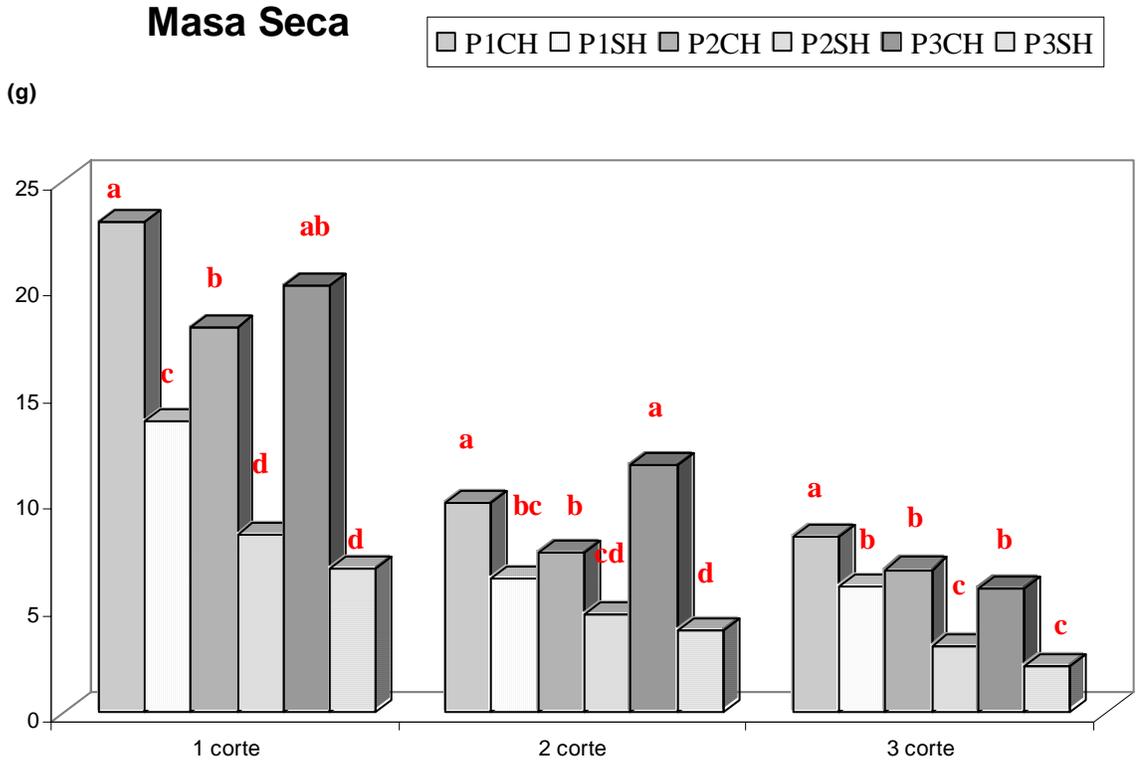
escurrimientos como las pérdidas de suelo y nutrientes pueden ser reducidos con el intercalamiento de abonos verdes y la aplicación de materia orgánica, ya que los mismos además de mejorar la estructura del suelo principalmente a través de la formación de agregados estables, contribuyen a reducir las pérdidas por erosión gracias a su capacidad de cohesionar las arcillas, así como el incremento de los rendimientos.

También autores como García (1999, 2000 y 2002); Martín y Rivera (2002, 2004), expresan la necesidad de la aplicación de enmiendas orgánicas a los suelos bajo explotación agrícola, con el objetivo de mejorar su fertilidad, y obtener mayores rendimientos en los cultivos.

IV. 6 b Masa seca

En cuanto a la evolución de la masa seca, la gráfica 2, nos muestra los resultados obtenidos en dichos tratamientos, a los cuales se les aplicó materia orgánica.

Grafica 2 Resultado de los valores de masa fresca de los suelos en estudio para las tres evaluaciones realizadas (Letras diferentes difieren estadísticamente según dócima de Duncan para un nivel de confianza del 95 %.)



Leyenda

- P1 CH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de ficus con humus de lombriz
- P1SH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de ficus sin humus de lombriz
- P2CH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de mango con humus de lombriz
- P2SH: Tratamiento de suelo bajo arboleda de mango sin humus de lombriz
- P3CH: Tratamiento de suelo bajo cultivo intensivo con humus de lombriz
- P3SH: Tratamiento de suelo bajo cultivo intensivo sin humus de lombriz

El comportamiento de la masa seca en el primer corte, para los tratamientos a los cuales se les aplicó materia orgánica se comporta de manera similar al obtenido anteriormente en el análisis de la masa fresca. Así tenemos que el suelo bajo ficus (P2) difiere

significativamente del suelo bajo arboleda de mango (P1), no presentando estas diferencias con el suelo bajo cultivo intensivo (P4).

Para poder explicar estos resultados, se plantea la hipótesis anterior para la masa fresca. De manera general, en los restantes cortes realizados, los resultados se muestran de manera similar a lo planteado para el caso de la masa fresca, tanto en los tratamientos con aplicación de humus de lombriz, como en los que no se les aplicó el enmendante orgánico.

Lo anteriormente expuesto evidencia que la respuesta agroproductiva de los suelos ante la presencia de un cultivo indicador va a presentar estrecha relación con el estado actual de conservación en que se encuentren los mismos. Por lo que se demuestra la necesidad de conocer en primera instancia las condiciones en que se encuentren los suelos con los que se van a trabajar, ya que en dependencia del estado que presente dicho suelo así será su respuesta ante la acción de una enmienda determinada.

Otros autores como Bruce et al (1987), enfatizan la influencia de las características del suelo sobre el desarrollo del cultivo, particularmente la relación entre la materia orgánica del suelo y la agregación del mismo. Así como que también plantea que el carbono que retorna al suelo es un eslabón de vital importancia para lograr un agricultura sostenible.

De esta misma manera Borges (2003); Hernández y Morell (2005), plantean que se hace necesario, que el hombre conozca el estado de los diferentes componentes (clima, suelo, vegetación, biodiversidad, etc.) y sus relaciones dentro del ecosistema para poder tener un manejo adecuado en la transformación al agroecosistema y de esa forma evitar la degradación del medio.

Es importante destacar que tanto para los resultados de masa fresca como los de masa seca, se observa una gran diferenciación en cuanto a

respuesta del cultivo a la aplicación de materia orgánica, siendo esta respuesta mucho mas marcada para el suelo bajo cultivo intensivo (P4), que para el suelo bajo arboleda de mango (P1), y menos aún para el suelo bajo arboleda de ficus (P2), esta respuesta esta corroborada por lo planteado anteriormente en relación a las cantidades de materia orgánica y nutrientes que aportan los suelos en estado natural o mas conservados.

Resultados meritorios se tiene hoy en día en Cuba, con el desarrollo de la lombricultura, hay un programa para la producción acelerada de materia orgánica, Martínez et al (2003). En general, se está dando como recomendación actual para el mejoramiento de los suelos la aplicación de 4 t/ha. Así como en investigaciones realizadas por Pupiro, (2004), las que demuestran que con la dosis de 8 t/ha se logran los mayores rendimientos y las mas bajas poblaciones de insectos en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

En las figuras 10, 11 y 12 se evidencia con claridad la respuesta marcada a la aplicación de humus de lombriz para el suelo bajo cultivo intensivo, no siendo tan marcada para el resto de los suelos en estudios.



Foto 10 respuesta a la aplicación de humus de lombriz del suelo bajo arboleda de ficus (P2), en el tercer corte realizado.

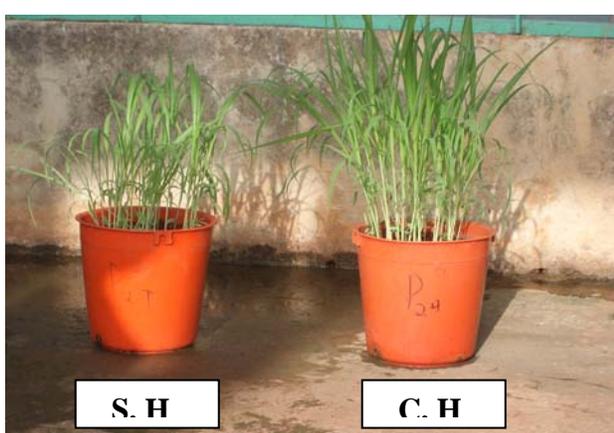


Foto 11 respuesta a la aplicación de humus de lombriz del suelo bajo arboleda de mango (P1), en el tercer corte realizado.

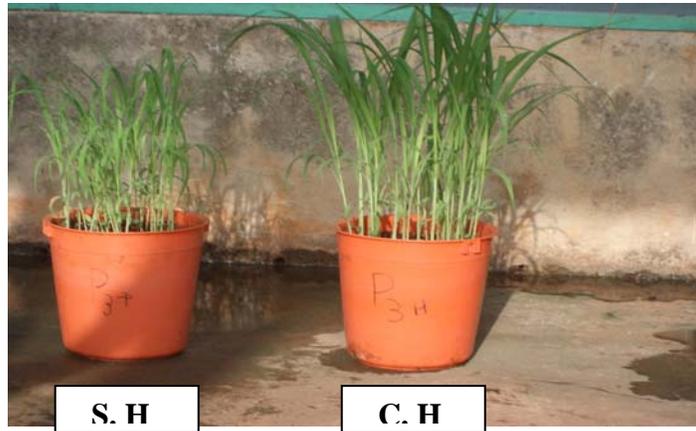


Foto 12 respuesta a la aplicación de humus de lombriz del suelo bajo cultivo intensivo (P4), en el tercer corte realizado.

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos demuestran que las propiedades de un tipo genético de suelo cambian por el uso diferenciado del mismo, desde arboleda natural hasta cultivos intensivos; lo que evidencia la necesidad de realizar el diagnóstico del estado de las propiedades del suelo ante cualquier manejo que se trate de hacer.
2. En el caso específico de los Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, se pudo evidenciar que con el cultivo intensivo se provoca la degradación de sus propiedades físicas, biológicas y disminución de la fertilidad.
3. Los índices de la degradación de las propiedades físicas de estos suelos, pudieran ser:
 - Aumento de la densidad aparente hasta valores de 1.25 Mg/m^3 .
 - Aumento del coeficiente de dispersión en valores mayores de 25.
 - Disminución de la porosidad total por debajo del 60%
 - Manifestación de un piso de arado en la parte superior del horizonte B_t .
 - Destrucción de la estructura, presentándose una estructura de bloques cúbicos mayores de 10 cm.
4. Los índices de la degradación biológica del suelo están dados por:
 - Las poblaciones de microbiota total presenta una alternancia en cuanto a sus cantidades presentes en los suelos estudiados, haciéndose necesario un estudio de la dinámica poblacional de las mismas en el tiempo para poder obtener resultados que

precisen su comportamiento en los suelos a medida que estos se degradan por el uso antrópico en la agricultura.

- Los tipos de hongos HMA así como la abundancia de las especies, la cantidad de micelio externo, colonización micorrízica, densidad visual y masa del endófito, presentaron valores mucho mas elevados para el caso de los suelos mejores conservados que para el suelo bajo cultivo intensivo.
 - Las concentraciones tanto de glomalina total como fácilmente extraíble fueron notablemente más elevadas en el SBA de ficus, algo inferiores el SBA de mango y considerablemente más bajas en el SB cultivo intensivo.
5. Los índices de la degradación por disminución de la fertilidad se presentan en:
 - Disminución del contenido de materia orgánica del horizonte húmico acumulativo en valores menores de 2%
 - Disminución del contenido en la suma de bases intercambiables del suelo
 6. Los resultados obtenidos en experimentos en macetas con y sin aplicación de enmienda orgánica (humus de lombriz), para los valores tanto de masa fresca como seca, muestran de manera general una mayor respuesta agroproductiva en el tiempo para los suelos mas conservados, disminuyendo estos valores para el suelo bajo cultivo intensivo.
 7. Existe una gran diferenciación en cuanto a respuesta del cultivo a la aplicación de materia orgánica. Siendo esta respuesta mucho mas marcada para el suelo bajo cultivo intensivo, menos para el suelo bajo arboleda de mango y menos aún para el suelo bajo arboleda de ficus.

VI. RECOMENDACIONES.

1. Cuando se vaya a realizar cualquier trabajo de mejoramiento de suelos, es necesaria hacer primero el diagnóstico de las propiedades en que se encuentren los suelos, tanto desde el punto de vista morfológico, como física, química y biológicamente y su interacción con los diversos factores de formación de suelo en cada localidad, ya que así podríamos pronosticar la respuesta del mismo aplicación de determinado mejoramiento que se aplique sobre el suelo
2. Para los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (FRL) es necesario la aplicación de materia orgánica (cuando su contenido sea menor de 2 %), así como la utilización de biofertilizantes adecuados que propicien un mejor desarrollo del cultivo y mejora del suelo.
3. En condiciones de cultivo intensivo en estos suelos se hace necesaria la aplicación del subsolador cada 3-4 años.
4. Se pueden utilizar estos resultados para mejorar la clasificación de los suelos FRL, sobre todo en la creación de un subtipo Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico.
5. Continuar realizando estos estudios a los suelos de mayor importancia económica del país con vistas de mejorar su productividad.
6. Que este material sirva como base para el estudio, tanto de pregrado como de cursos de postgrado sobre el tema.

VII. REFERENCIAS

1. Alfonso, C.A. Algunos criterios sobre la degradación de la estructura de los suelos Ferralíticos Rojos de la provincia Habana por el cultivo intensivo. Resúmenes IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Celebrado en Matanzas, 1997.
2. Alfonso, C.A. Datos sobre el cambio de la estabilidad de los agregados por el cultivo intensivo en suelos Ferralíticos Rojos de provincia Habana. ACTAF, La Habana, 2002.
3. Alfonso, C.A. y Monedero, M. Uso, manejo y conservación de los suelos. ACTAF, La Habana, 68p. 2004.
4. Álvarez M. García M. Treto E. Eficiencia del nitrógeno incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz (*Zea mays*). Revista Cultivos Tropicales, 1999. Vol. 20. No. 3. pp. 49 – 53.
5. Bach, T. y Ferrán, J. Fosforina, inoculante bacteriano solubilizador de fósforo. Instituto de Suelos. En CD preparado por la SCCS, La Habana, 10p. 2003.
6. Borges, Y. Cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por el cambio de uso de la tierra. Tesis de Universidad para Ingeniero Agrónomo, UNAH, La Habana, 87p. 2004.
7. Bradford, M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle protein-dye binding. Annual Biochem. 72: 248-254. 1976.
8. Bruce, et al, Legume effecton soil erosion and and productivity. IN : role of legume in conservation Tillage Systems Univ. GA. Athens, GA. Apr. 27-29. pp 127-138. 1990.
9. Canadell, J. and Noble, I. Recent Advances in Terrestrial Carbon Cycle Research. News Letter, Global Change, No.46: 24-26. 2001.
10. Centelles, A., Llanes, J. y Paz, L. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. Instituto de Meteorología (INSMET). CUBAENERGÍA, 169P. La Habana, Octubre 2001.
11. Constantini, M. Determinación de la edad de formación de plintita en condiciones de una región del sur de Italia. Resúmenes conferencia internacional de Cambios Globales en los Suelos. Instituto de Geología, UNAM, México. 2005.
12. Crawley, J.T. Las Tierras de Cuba. Estación Experimental Agronómica. Edit. Rambla-Bouza, La Habana, 81 p. 1916.

13. Deckers, J.A., Nachtergaele, F.O., Spaargaren, F.O. 1998: World Reference Base for Soil Resources. Introduction. ISSS/ISRIC/FAO. Acco, Leuven/Amersfoort, Belgium, 165p.
14. Dokuchaev, V.V. El Chernozión ruso (en ruso). Tipografía Deklerona y Evdokumova. San Petersburgo, 370p. 1883.
15. Driessen, P., Deckers, J. and Nachtergaele, F.O. Lecture Notes on the Major Soils of the World. FAO, Rome, 334p. 2001.
16. Duchaufour, Ph. *Precis de Pedologie*. Edit. Masson et Cie, París. 481p. 1965.
17. Dudal, R., Nachtergaele, F.O. and Punell, M.F. The human factor of soil formation. Newsletters WRB. 12p. 2001.
18. Duncan, D.R. A multiple range test. *Biometrics*. 1960.
19. Eizenstat, S. (1998): El Protocolo de Kyoto: Bases para la Acción. Extractos de sus declaraciones ante la Comisión de Relaciones Exteriores del Senado. Temas Mundiales No. 1:5*
20. FAO-UNESCO 1988: Soils of the world. Revised Legend. FAO, Rome, 119p.
21. Fernández, F., J. Del Amico, J. y Pérez, Y. Producto Inoculante Micorrizógeno Líquido (LicoMic). Patente solicitada OCPI. La Habana, INCA. 2003.
22. Fernández, F., Rivera, R. Hernández, A. y Fernández, K. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de café (C. arabica L. var. CATUAI) en algunos tipos de suelos. Premio Andrés Aguilar Santelises, X Congreso Latinoamericano, Varadero, Cuba, 53p. 2001.
23. Ferrotti, F. y Luciano, C. Soil organic matter and soil nitrogen fraction as affected by crop rotation in rainfed mediterranean conditions. International Conference of Global Soil Change. Mexico. 2005.
24. Frómata, E. Determinación del efecto del cultivo continuado de la caña de azúcar sobre algunas características de un suelo Ferralítico. Informe de etapa, INCA, 26p. 1988.
25. García M., Eolia Treto, E. y Alvarez, M. Los abonos verdes: Una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. II. Efecto de la interacción abono verde-dosis de nitrógeno. Cultivos Tropicales 21(1):13-19. 2000b.

26. García, M., Álvarez, M., y Treto E. Estudio comparativo de diferentes especies de abonos verdes y su influencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*. Vol. 23. No. 3. pp 19 – 30. 2002.
27. García. M. y col. Eficiencia del nitrógeno incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Revista Cultivos Tropicales*. Vol. 25. No. 20, pp 49-53. 1999.
28. García. M. y col. Los abonos verdes: Una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa .I. y el estudio comparativo de diferentes especies. *Revista Cultivos tropicales*. No. 21. Vol. 2, pp 73-78. 2000 a.
29. Gerdermann, J. W. y Nicolson, T. H. Espores of Mycorrhizae endogone especies extracted from soil by wet sieving and decanting. *Tras. Br. Mycol. Soc.* 46, 235 – 244. 1963.
30. Giovanetti, M. y B. Mosse. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in rotos. *New Phytologist*, 84:489-500, 1980.
31. Hernández, A. , Baisre, J., Tatevasian, G. S. y Ronda, M. El hierro total, libre y amorfo en los suelos. *Suelos de Cuba*. Instituto de Suelos , Academia de Ciencias de Cuba, 54 p. 1980.
32. Hernández, A. y Morales, M. Los Cambios Globales en los Suelos: Un nuevo paradigma para la Edafología y la Agricultura en Cuba. Trabajo presentado en el Forum de Base de Ciencia y Técnica, Instituto de Suelos, MINAG, 23p. 1999b.
33. Hernández, A. y Morales, M. Los procesos de ferritización, alitización y ferralitización para los suelos de Cuba. Informe Instituto de Suelos. La Habana, 16p. 1999^a.
34. Hernández, A. y Morell, F. Función ecológica de los suelos y su transformación de los ecosistemas a agrosistemas: Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. Conferencia impartida en VI Encuentro Nacional de Papa. INCA, La Habana, 2005.
35. Hernández, A., Ascanio, M.O. y Morales, M. 2002. Características de los suelos tropicales y procesos de degradación en ellos inducidos por el hombre. XX Curso-Diplomado Internacional de Edafología. CD Rom. UNAM, México.
36. Hernández, A., Ascanio, M.O. y García, N.E. Los Procesos de Formación de Suelos. XX Curso-Diplomado Internacional de Edafología. UNAM, México. Conferencia en CD. 2002.

37. Hernández, A., Ascanio, M.O., Borges, Y. y Morell, F. Some criteria about Global Soil Change in Cuba. International Conference of Global Soil Change. Instituto de Geología, UNAM, México, p. 2005.
38. Hernández, A., Ascanio, M.O., Cabrera, A., Morales, M., Medina, M. y Rivero, L. Problemas Actuales de Clasificación de Suelos: énfasis en Cuba. Editorial Veracruzana, México, 221p. 2004.
39. Hernández, A., Ascanio, M.O., Morales, M. Fundamentos sobre los Cambios Globales en los Suelos. Editado en CD. Del XX Curso Internacional de Edafología, UNAM, México. 2002
40. Hernández, A., Ascanio, M.O., Morales, M., Bojórquez, I. y García, N. E. Fundamentos sobre la formación del suelo, los cambios globales y su manejo. En edición por universidad de Nayarit, Mexico, 171p. 2005.
41. Hernández, A., Ascanio, M.O., Morales, M., Bojórquez, I. y García, N.E. Fundamentos de la Formación del Suelo, Cambios Globales y su Manejo. Instituto nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), MES, Cuba y Universidad de Nayarit, México. En imprenta, 171p. 2005.
42. Hernández, A., Ascanio, O. y García, N.E. Fundamentos y definición sobre los procesos de formación de suelos. En CD del XX Curso-Diplomado Internacional de Edafología "Nicolás Aguilera". UNAM, México, 29p. 2005
43. Hernández, A., Font, J.M., Ruiz, J. Regionalización geográfica de los suelos de las provincias Guantánmo, Holguín y Tunas a escala 1:250 000, con elementos de mejoramiento para la caña de azúcar. Instituto de Suelos, La Habana, 83p. 1985.
44. Hernández, A., Font, J.M., Ruiz, J. Regionalización geográfica de los suelos de las provincias Granma y Santiago de Cuba, a escala 1:250 000, con elementos de mejoramiento para la caña de azúcar. Instituto de Suelos, La Habana, 65p. 1990.
45. Hernández, A., Morell, F., Ascanio, O., Morales, M. Cambios Globales en los Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródico éutricos) de la región de San José de las Lajas, Habana, Cuba. Revista Cultivos tropicales (en prensa). 2005.
46. Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., Rivero, L. Nueva Versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. AGRINFOR, La Habana, 64p. 1999.
47. Herrera, R. A. Estrategia de funcionamiento de las Micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, evolución y procesos sociales (Eds. Maximina Monasterio). Programa

Iberoamericano de Ciencias y tecnología para el desarrollo. Subprograma XII, diversidad biológica, Mérida, 1995.

48. Herrera, R.A., Furrázola, E., Valdés, A.R., Torres, Y., Ferrer, R.L. y Fernández, F. Estrategias de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. En: Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, Evolución y Procesos Sociales (Ed. Maximina Monasterio), Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida, 1994.
49. Ingram, J. Los efectos de Cambios Globales sobre los suelos. Boletín de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo No. 90(2):63-65. 1996.
50. Instituto de Suelos. Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, año 1979. Acad. Cien. Cuba, 38p. 1980.
51. Instituto de Suelos. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelo. Ministerio de Agricultura. AGRINFOR. La Habana, 39p. 2001.
52. Instituto de Suelos. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Acad. Cien. Cuba, Serie Suelos 23, 36p. 1975.
53. Kartashov, I.P., Cherniajovsky, A.G., y Peñalver, L. El Antropógeno de Cuba (en ruso). Nauka, Moscú, 147 p. 1981.
54. Kaurichev, F. y Mershin, A. P. Prácticas de Edafología. Editorial Mir. Moscú, 1984.
55. Luis, A, J. y Martín, J. Manual de Laboratorio. Métodos para el Análisis Físico de los Suelos. Universidad Agraria de la Habana. Facultad de Agronomía. Departamento de Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Departamento de Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. San José de las Lajas. 37 p. 2003.
56. Martín, G. y Rivera, R. Mineralización del nitrógeno de la Canavalia ensiformis en un suelo Ferralítico Rojo de la provincia La Habana. Revista "Cultivos Tropicales". Vol. 25. No. 3. pp 83 – 88. 2004.
57. Martín, G. y Rivera, R. Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays*.L.), cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo. Cultivos Tropicales Vol. 23(3):91-96. 2002.
58. Martínez F.; Calero B. J., Nogales, R. y Rovesti L. Lombricultura, Manual Práctico. Editorial MINREX, C. Habana, 99p. 2003..
59. Martínez Viera, R.; Dibut B.; Torres G.; García R.; Gómez y Tejeda G. Trascendencias internacionales de biofertilizantes Cubanos. XV Congreso

Latinoamericano y V Cubano de la Ciencias de Suelo. Centro de convenciones "Plaza América " Varadero. Cuba. 2003.

60. Martínez, A., Mauri, G. y Aleman, I. Características biológicas de los principales suelos de Cuba II. Actividad de la invertasa y la ureasa. Revista "Ciencias de la Agricultura". No. 11. pp 667 – 76. 1982.
61. Montanarella, L. The EU Thematic Strategy on Soil Protection. . En R.J. Jones y L. Montanarella (eds.) Land degradation. European Comisión. EUR 20688 EN. Italy, pp.12-29. 2003.
62. Morales, M., Hernández, A., Vantour, A. Los cambios globales y su influencia en el contenido de materia orgánica de los suelos de Cuba. Agricultura Orgánica.9 (2): 15-16. 2003.
63. Morell, F. y Hernández, A. Estudio de la acción micorrízica en las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de La Habana. Resultados preliminares. INCA. La Habana. 2004.
64. Morell, F., Borges, Y. y Hernández, A. Influencia del cambio de uso de la tierra en algunas propiedades físicas del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. XIV Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana, 9-12 de Noviembre, 2004.
65. Oldeman, I. R., Van Egelen, V. W., and Pulles, J . R. The extent of humnesisan induced soil degradation. ISRIC, Wageningen, The Netherlands. 1990.
66. Olivé, J. Hooker, C. Watson, R. Efecto de diferentes hongos micorrízicos sobre la agregación y estabilidad del suelo. I Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Toledo, septiembre de 1994. * Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida. Av.Rovira Roure 177, 25198 Lèrida. ** Soil Biology Unit, Land Resources Department, Scottish Agricultural College. Mill of Craibstone, AB2 9TT Aberdeen, Escocia. 1994.
67. Orellana, R. y Ortega, F. Evaluación del estado estructural de un suelo Frralítico Rojo bajo diferentes condiciones. Revista "Ciencias de la Agricultura".. No. 37-38. pp. 130-135. 1989.
68. Ortega , F. y Arcia, M. Determinación de la lluvias en Cuba durante la glaciación de Wisconsin, mediante los relictos edáficos. Cien. Tierra y espacio (4): 85-104. 1983.
69. Ortiz Solorio, Ma. Luz, Anaya, C.A. y Estrada, J.W. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Conaza. C.P., México, 161 p. 1995.

70. Pallo, F.J.P. Evolution of organic matter in some soils under shifting cultivation practices in Burkina Faso. In Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. Edit. John Wiley & Sons, 392p. 1991.
71. Paneque, V.M. Manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. 130pp. 2002.
72. Peña F., Shepashenko, G y Riverol, M. La erosión bajo diferentes usos de la tierra I. Efectos más generales del escurrimiento superficial. Revista "Ciencias de la Agricultura". No. 34-35. pp 123 – 129. 1988.
73. Phillips, J.M. y Hayman, D.S. Improved procedures for cleaning root and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infections. Transfer. Britanic: Micology Society 55: 159-211, 1972.
74. PNUMA Geo América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente. 40p. 2003.
75. Ponce de León, D. Las reservas de carbono orgánica de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. UNAH. La Habana, 96 p. 2003.
76. Pupiro, L. A y Vilches, E. Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y las principales plagas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista "Cultivos Tropicales". Vol. 25. No. 1. pp 89 – 95. 2004.
77. Riera, M. Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencia de cultivos, sobre suelo Ferralítico Rojo. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. INCA, La Habana, 89p. 2003.
78. Rivera R., Martín, G. y Pérez, D. Efecto de la temperatura sobre la mineralización del nitrógeno de dos especies de abonos verdes en un suelo Ferralítico rojo. Revista Cultivos Tropicales, Vol. 20. No. 2. pp 15 – 19. 1999.
79. Rivera, R., Fernández, F., Hernández, A., Martín, J.R. y Fernández, F. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. Ediciones INCA, Ciudad Habana, 166p. 2002.
80. Roldós, J.E. Algunos factores edáficos limitantes de la producción de la caña de azúcar en Cuba. Resumen de Tesis de Doctor. INICA, La Habana, 32 p. 1986.

81. Sánchez, P.A., Palm, C.A., Szott, L.T., Cuevas, L. and Lal, R. Organic input management in tropical agroecosystems. In Coleman D.C, J.M. Oades and G. Uhera (eds.) Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, USA. University of Hawaii. 1989.
82. Segalen, P. Los suelos de la zona cálida y diversamente húmeda del globo. Seminario impartido en el Instituto de Suelos, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 95p. 1970.
83. Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., Guerasimova, M.I. Diagnóstico y Clasificación de Suelos de Rusia (en ruso). Instituto de Suelos V.V. Dokuchaev. Editorial Oikumena, Moscú, 341p. 2004.
84. Soil Survey Staff. Keys for Soil Taxonomy. USDA, . Ninth Edition, 332p. 2003.
85. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy. USDA, Second Edition, 890p. 1999.
86. Sombroek, W. G. Suelos de una tierra más caliente: Cambios en América Latina. Mem. XI Congreso Latinoamericano Ciencia del Suelo, La Habana. Vol V: 1251 – 1266. 1990.
87. Soroa, S., Cortés, S., Hernández A. Estudio del efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre algunas variables de crecimiento y rendimiento en *Gerbera jamesonii* cv. *Bolus*.. Vol. 24. No. 2. pp. 15 – 17. 2003.
88. Spaargaren, O.C., Arnold, R.W., Blume, H.P. World Reference Base for Soil Resources. Wageningen/Rome, 161p. 1994.
89. Suárez, A. Modelación y evaluación del impacto del cambio climático. En resúmenes VIII Simposio y VI Congreso Sociedad Cubana de Física. Ciudad de la Habana, Cuba. Pp 7-8. 1999.
90. Targulíán, V.O. Pedosphere. In Global Soil Change. Int. Inst. for Applied System Analysis, Laxemburg, Austria, pp 21 – 29. 1990.
91. Tonkonogov, V. y Guerasimova, M. Agrogenic pedogenesis and soil evolution. International Conference of Global Soil Change. Instituto de Geología, UNAM, México, 2005.
92. Varallyay, G. Types of soil processes and changes. In Global Soil Change Int. Inst. for Applied System Analysis, Laxemburg, Austria, pp 41 – 62. 1990.
93. Watson, A. The global survey of pCO₂. News Letter Global Change No. 37:6-7. 1999.
94. Wright S. and Jawson, L. A pressure cooker method to extract glomalin from soils. Soil Science Society Of America Journal. 2000.

95. Wright S. Artificial Climate Warming Positively Affects Arbuscular Mycorrhizae But Decreases Soil Aggregate Water Stability in An Annual Grassland. 2002.
96. Wright, S.A. Fluorescent antibody assay for hyphae and glomalin from arbuscular mycorrhizal fungi. Plant And Soil Journal. 1999.
97. Wright. F. F. and Upandhyaya A. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. 1999