



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

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE  
MASTER EN AGRICULTURA SOSTENIBLE  
MENCIÓN FITOTECNIA**

# **SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD PARA UN SUELO FERRALÍTICO ROJO COMPACTADO**

**Autora: Ing. Ariany Colás Sánchez.**

**Tutor: Dr. C Pedro I Cairo Cairo.**

**2007  
"Año 49 de la Revolución"**

# *Pensamiento*



*“La ciencia no tiene anchos caminos reales y sólo puede alcanzar sus cimas radiantes quien, sin temor al cansancio, trepa por sus senderos pedregosos”*

*Carlos Marx*

# *Dedicatoria*



*A mis padres Rafael y Caridad, ejemplo de entrega y sacrificio*  
*A mis queridos tíos Antolín Sánchez y Dulce Manzano*  
*A mi hermano Adrian Colás Sánchez*  
*A mi novio Ahmed Chacón Iznaga por ser mi guía y fuente de*  
*inspiración.*  
*A la familia Castillo Yáñez*  
*A todos aquellos que con sus investigaciones ayudan a crear un*  
*mundo mejor*

# *Agradecimientos*



*Agradezco sinceramente a:*

*Al Dr.C Pedro Cairo Cairo por su excelente conducción en la realización del trabajo.*

*A Dr.C Joaquín Machado de Armas por sus oportunas consideraciones.*

*A Dr. C Cristóbal Ríos, por su valiosa cooperación.*

*A Martha Rodríguez por su colaboración desinteresada.*

*A Msc. Reinaldo Quiñones Ramos y la Ing. Yanetsy Ruiz. González por su ayuda y cooperación.*

*A todos mis compañeros de trabajo.*

*Gracias a todos los que desinteresadamente me brindaron su ayuda.*

# *Resumen*



## RESUMEN

El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias, con el objetivo de determinar el efecto de las diferentes alternativas de mejoramiento, sobre las características físicas y químicas de un suelo Ferralítico Rojo Compactado, como base para la selección de indicadores de calidad. El muestreo se llevó a cabo a la profundidad de 0 – 20 cm y se establecieron 5 experimentos en condiciones controladas: dosis de fosforita, combinaciones de compost y minerales naturales (ceniza, zeolita, dolomita, caliza fosfatada), abonos organo minerales, dosis de gallinaza y caliza fosfatada y su combinación con zeolita, compost, cachaza y ceniza; utilizando como planta indicadora el maíz (*Zea mays* L.). Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional **STATGRAPHICS Plus** Versión 4.1 y SPSS ver. 8.0 sobre Windows 2000. Los resultados obtenidos revelaron que los indicadores más adecuados para diagnosticar la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos Compactados fueron: permeabilidad ( $\log 10k 2.4$ ), agregados estables (74 %), factor de estructura (75 %) y el límite inferior de plasticidad (27 % $_{hbss}$ ) y que a partir de estos se puede establecer un diagrama de calidad para dichos suelos, que al validarlo demuestra que es posible la aplicación de dichos resultados para diagnosticar el estado de la calidad de los suelos de la región en estudio. Cuando se compara el diagrama de calidad de suelo con diferentes alternativas de mejoramiento la tendencia general es positiva, destacándose el tratamiento de (4  $tha^{-1}$ ) Compost + Zeolita.

# *Índice*



<b>ÍNDICE.</b>	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN.</b>	
<b>1. INTRUDUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Los suelos Ferralíticos Rojos.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Evaluación de la Sostenibilidad Agraria.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 <i>Los indicadores, como instrumentos de evaluación.....</i>	<i>5</i>
2.2.2 <i>Tipos de indicadores y las ventajas de su establecimiento.....</i>	<i>6</i>
<b>2.3 Calidad de suelo.....</b>	<b>7</b>
2.3.1 <i>Indicadores de la calidad del suelo.....</i>	<i>11</i>
2.3.2 <i>Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo.....</i>	<i>13</i>
2.3.2.1 <i>Indicadores físicos.....</i>	<i>14</i>
2.3.2.2 <i>Indicadores químicos.....</i>	<i>14</i>
2.3.2.3 <i>Indicadores biológicos.....</i>	<i>14</i>
2.4 <i>Algunas consideraciones sobre degradación, medio ambiente y calidad de suelo.....</i>	<i>15</i>
2.5 <i>El uso de abonos orgánicos y minerales naturales.....</i>	<i>17</i>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Características y diseño.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Característica del sustrato.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 <i>Suelo Ferralítico Rojo.....</i>	<i>20</i>
<b>3.3 Descripción de los Experimentos.....</b>	<b>21</b>
3.3.1 <i>Estudio de niveles de Fosforita.....</i>	<i>21</i>
3.3.2 <i>Estudio de la combinación de compost y su interacción con otros materiales alternativos.....</i>	<i>21</i>
3.3.3 <i>Estudio de combinaciones organo minerales.....</i>	<i>22</i>
3.3.4 <i>Estudio de niveles de Gallinaza.....</i>	<i>23</i>
3.3.5 <i>Estudio de la aplicación de Caliza Fosfatada y su interacción con otros materiales alternativos.....</i>	<i>23</i>
<b>3.4 Análisis realizados.....</b>	<b>24</b>
3.4.1 <i>Análisis Químicos.....</i>	<i>24</i>
3.4.2 <i>Análisis Físicos.....</i>	<i>24</i>
3.4.3 <i>Evaluación de los indicadores de crecimiento de las plantas.....</i>	<i>25</i>
<b>3.5 Metodología para la obtención de los Indicadores de Calidad.....</b>	<b>26</b>
<b>3.6 Validación del diagrama de calidad propuesto.....</b>	<b>28</b>
<b>3.7 Procesamiento Estadístico.....</b>	<b>28</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 La materia orgánica y su relación con el estado estructural en los diferentes experimentos estudiados.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de fosforita.....</b>	<b>33</b>
4.2.1 <i>Relaciones entre las propiedades físicas.....</i>	<i>33</i>
4.2.2 <i>Relaciones entre las propiedades físicas y los indicadores de crecimiento de la planta indicadora.....</i>	<i>36</i>
4.2.3 <i>Análisis de componentes principales.....</i>	<i>39</i>
<b>4.3 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo condiciones de un experimento con compost y sus combinaciones con minerales naturales.....</b>	<b>40</b>

---

4.3.1	<i>Relaciones entre las propiedades físicas.....</i>	40
4.3.2	<i>Análisis de componentes principales.....</i>	42
4.4	<b><i>Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con abonos organo minerales.....</i></b>	43
4.4.1	<i>Relaciones entre las propiedades físicas.....</i>	43
4.4.2	<i>Análisis de componentes principales.....</i>	45
4.5	<b><i>Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con diferentes niveles de gallinaza.....</i></b>	46
4.5.1	<i>Relaciones entre las propiedades físicas y con el rendimiento, análisis de componentes principales.....</i>	46
4.6	<b><i>Análisis de componentes principales bajo las condiciones de un experimento con niveles de caliza fosfatada.....</i></b>	48
4.7	<i>Análisis de las matrices de correlaciones en los diferentes experimentos....</i>	49
4.8	<i>Análisis de los indicadores de calidad de suelo.....</i>	50
4.8.1	<i>Comparación entre el diagrama de calidad propuesto y las diferentes enmiendas.....</i>	50
4.8.2	<i>Validación del diagrama de calidad propuesto.....</i>	51
5.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	56
6.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	57
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	
8.	<b>ANEXOS.</b>	

# *Introducción*



## 1. INTRODUCCIÓN

En el mundo hay cada vez una mayor conciencia de que los enfoques convencionales para el manejo de los recursos naturales, han dado origen a serios problemas de injusticia y conflicto social y a la lenta desaparición de los sistemas locales de manejo de los mismos (Mohr, 2006).

La degradación de suelos y recursos hídricos es el principal factor que atenta contra la sostenibilidad de la utilización agrícola de las tierras en América Latina, lo que conduce a crecientes dificultades para producir los requerimientos de alimentos y fibras para su creciente población (Pla, 2003).

En nuestro país, para alcanzar un sistema sostenible de producción, la estrategia de sustitución de insumos necesita evolucionar hacia un enfoque de sistema de producción agroecológica. Solamente haciendo cambios de mayor alcance hacia sistemas agrícolas regenerativos que sustituyan a aquellos basados en insumos, aunque estos insumos sean biológicos u orgánicos, será posible incrementar la sostenibilidad a largo plazo (Funes, 2006).

En la actualidad los problemas ecológicos en el suelo, por el agotamiento de sus recursos naturales y fertilidad, están acompañados de las tecnologías convencionales aplicadas, las razones económicas y ecológicas que se han derivado de esta problemática han originado la necesidad de búsqueda urgente de alternativas de fertilizantes orgánicos, como residuos de café, cachaza, desechos animales, compost, minerales autóctonos y naturales (roca fosfórica, dolomita, zeolita) los cuales pueden contener nutrientes primarios como el P, K, Mg y S entre otros Gómero y Vázquez, (2004). Algunos autores consideran la combinación armónica y racional de las sustancias orgánicas y fertilizantes químicos como favorecedores de las necesidades de nutrientes del suelo y por ende, mejoradores estructurales del mismo [Altieri, (1994); Montesino, (1998); Cairo, (2000b) y Philipps, (2002)].

A nivel nacional los suelos Ferralíticos constituyen un gran potencial agrícola, Gounou (1997). Estos suelos han sido estudiados por diferentes investigadores [Camacho, (1984); Frómata, (1988); Alonso, (1997)]. Sin embargo, en los últimos años el manejo a que han sido sometidos ha producido afectaciones en sus propiedades físicas como se

ha podido comprobar en las Empresas de Cultivos Varios, en áreas cañeras, provocando disminuciones significativas en los rendimientos de los cultivos.

Los suelos con grandes limitantes para la producción de cultivos, son los que más necesitan de la aplicación de una agricultura orgánica, entre estos, los suelos Ferralíticos rojos poseen limitaciones agrícola por su acidez, muchas veces por debajo de 5.5 de pH, ligado a la compactación y riesgos de erosión por su degradación física (Pineda, 2002).

Según Torstensson *et al.*, (1998) el bienestar económico de la mayoría de las naciones en la tierra depende grandemente de los suelos cultivables y de cómo su productividad es mantenida. La calidad del suelo puede mejorar o deteriorarse en dependencia de la influencia de otros factores y además plantean la necesidad de herramientas para interpretar los diferentes datos de la calidad del suelo, así como de una estrategia para la evaluación integrada del mismo.

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo (Dalurzo *et al.*, 2002).

Toda esta problemática fundamenta la siguiente hipótesis:

**Hipótesis:**

Las diferentes alternativas de mejoramiento conducen a transformaciones sensibles en las propiedades del suelo, que pudieran permitir la selección de Indicadores apropiados para diagnosticar la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos Compactados.

**Objetivo General:**

Determinar el efecto de las diferentes alternativas de mejoramiento, sobre las características físicas y químicas de un suelo Ferralítico Rojo Compactado, como base para la selección de indicadores de calidad.

**Objetivos Específicos:**

1. Evaluar el papel de la Materia orgánica y su relación con el estado estructural en las diferentes enmiendas organo minerales.

2. Determinar las relaciones entre las propiedades del suelo y los indicadores de crecimiento de la plantas.
3. Establecer relaciones entre las propiedades físicas del suelo estudiado.
4. Proponer indicadores de calidad del suelo y un diagrama elaborado a partir de estos como base para la evaluación de la misma.
5. Validar el diagrama de calidad propuesto en diferentes sistemas de manejo.

# *Revisión Bibliográfica*



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Los suelos Ferralíticos Rojos.

Según Hernández *et al.*, (1999) este agrupamiento de suelos se forman por el proceso de ferralitización, el cual se caracteriza por una alteración intensa de los minerales, con lavado de la mayor parte de las bases alcalinas y alcalinotérreas 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 presentan horizonte B ferralítico.

Horizonte subsuperficial según (Hernández *et al.*, 1999) se caracteriza por:

- Predominio de minerales arcillosos del tipo 1:1, que pueden alcanzar hasta 10 % de tipo 2:1 del contenido total de la fracción arcillosa.
- Capacidad de intercambio catiónico  $< 20 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  en arcilla.
- Relación  $\text{SiO}_2: \text{Al}_2\text{O}_3$  menor de 2,3 en arcilla.
- Contenido de minerales alterables menor de 10 % de la fracción entre 20 y 200 micros.
- Contenido menor de 60 % de sesquióxidos de hierro en la fracción  $< 2$  micros.
- Contenido de hierro libre en relación al hierro total mayor de 60%.
- Estructura con agregados finos o muy finos, microagregados redondeados.
- Factores limitantes: erosión potencial, actual y moderada, horizonte B compactado y arcilloso en algunos casos, fuerte deficiencia de P, K y Ca para los dasaturados y N, P, K para los saturados.

Tipo **Ferralítico Rojo** son suelos de perfil ABC, con horizonte ferralítico en los que predomina el color rojo. Son arcillosos permeables y los valores de pH por lo general son inferiores a 6.8. La CCC puede estar entre 6-20  $\text{cmol}^{+}\text{kg}^{-1}$  la MO oscila entre el 2-5 %.

Subtipo **Compactado** se caracterizan por ser suelos arcillosos muy plásticos en estado húmedo y muy duro o compacto, en estado seco (horizonte B entre 20 y 25  $\text{kgcm}^2$  o al menos 1,5  $\text{kgcm}^2$  superior al horizonte superficial A y compactado. Son suelos muy

profundos (más de 100 cm), saturados por calcio, fértiles, productivos, con niveles de materia orgánica entre 2 y 4 %; sin embargo poseen limitaciones para la actividad agrícola debido a la compactación ocasionalmente excesiva de sus horizontes inferiores. (Jaimez *et al.*, 2004).

Hernández *et al.*, 2004 en estudios realizados sobre este tipo de suelos demostraron que su pH en agua está cerca de 7 ó ligeramente superior, debido a la influencia del tipo de roca, la suma de bases cambiables es relativamente alta, al igual que la capacidad de intercambio catiónico (Valor T) en suelo, en el horizonte superior, debido principalmente al contenido en materia orgánica, mientras que disminuye en el horizonte B, de acorde a las características mineralógicas del suelo. Segalen *et al.*, (1983) citado por Hernández *et al.*, (2004), plantean que la mineralogía de la fracción arcillosa en estos suelos está dominada por minerales del tipo 1:1.

En cuanto a sus propiedades físicas e hidrofísicas, la composición mecánica evidencia la textura arcillosa del suelo, con un pequeño empobrecimiento en arcilla en el horizonte superior, como es común para los suelos de las regiones montañosas y premontañosas.

## **2.2 Evaluación de la Sostenibilidad Agraria.**

### **2.2.1 Los indicadores, como instrumentos de evaluación**

González, (2002) plantea que para poder hacer una evaluación y seguimiento de la sostenibilidad, en cualquiera de los niveles que queremos considerar (global, nacional, regional, local, finca), es necesario definir previamente aquellos *puntos de referencia* o **indicadores** respecto a los cuales se puedan apreciar el avance o retroceso que se logra con las acciones.

Para cada uno de los niveles que se describan, existen planos o dimensiones diferentes, en los cuales hay que establecer puntos de referencia, la intervención humana, a través de proyectos o acciones de desarrollo y producción, pretende siempre la transformación de determinados recursos, naturales o no, en productos destinados a mercado, pero este conjunto de acciones tiene un cierto impacto, ya sean el entorno ambiental, en aspectos sociocultural, en la economía de las personas con una tendencia a su perduración, desaparición.

Resumiendo, el desarrollo de indicadores es un intento válido para considerar criterios adecuados sobre los aspectos principales que confieren o no, sostenibilidad a los sistemas de producción.

Esto requiere la definición a “priori” de aquellos aspectos considerados fundamentales para lograr la sostenibilidad. Estos aspectos fundamentales o puntos críticos Masera, *et al.*, (1999) son diferentes para cada tipo de situación y condiciones particulares de cada zona (económica, ambiental, cultural) y deberían establecerse, antes de decidir el tipo de indicador a utilizar.

### **2.2.2 Tipos de indicadores y las ventajas de su establecimiento.**

Sobre los diferentes tipos de indicadores González, (2002) plantea que existen:

- a) De metas o de resultados. Son aquellos que identifican el grado de logro de los resultados, en términos cuantitativos y cualitativos, según lo esperado desde un comienzo. Son una medida de la eficiencia, ya que valoran los mismos resultados en función de los recursos invertidos.
- b) De proceso y de disponibilidad de insumos. Se refieren más al “como” se hace la intervención, es decir, a la manera como se van obteniendo los resultados. Están más relacionados con la metodología y las estrategias seguidas. Es una mirada que permite valorar la efectividad, en forma de regular, entendida como la manera de hacer las cosas con la menor inversión de esfuerzos y a la vez alcanzando la mayor cantidad de efectos.
- c) De impacto. Son los que buscan en esencia verificar el grado de transformación de la realidad como consecuencia directa o indirecta, prevista o no prevista de las acciones. Es una relación que se establece entre los resultados inmediatos que van alcanzándose y las consecuencias o efectos que estos conllevan en lo sucesivo, dentro del entorno donde se obtienen dichos resultados. También es una valoración de eficacia. Para medir sostenibilidad, son este tipo de indicadores los que más necesitamos.

Las ventajas que tiene el establecimiento de indicadores, especialmente a un nivel de explotación agrícola, son las siguientes:

- a) nos permitirá apoyar una mejor definición de las políticas agroambientales, partiendo del ámbito local, espacio en que se define más concreto el concepto de buena “práctica agrícola”.
- b) Una mejor consideración de la repercusión de muchos procesos contaminantes, empobrecedores o benéficos del medio ambiente, muy dependientes de las características geológicas, topográficas y climáticas del lugar.
- c) Posibilita examinar los ecosistemas de forma global desde lo local y estudiar sus características sistemáticas, tales como su vulnerabilidad.

Los indicadores base o indicadores de referencia, son aquellos que derivándose de los conceptos de sostenibilidad, deben reflejar por definición, aquellas condiciones óptimas para el manejo de los recursos naturales y de las condiciones socioeconómicas de un sistema en cualquier nivel de agregación.

Los indicadores pueden tener distintas utilidades, en las investigaciones básicas, o como instrumentos para la incidencia en políticas agrarias de distintos grupos sociales, o bien, simplemente, para generar puntos de reflexión y servir como instrumentos de toma de decisiones del propio agricultor y su familia.

En este último caso, el indicador debe ser asumido conscientemente por el agricultor, como un punto clave importante en el manejo. Indudablemente, para alcanzar este estado es necesario trabajar con los agricultores en un proceso reflexivo, sobre las consecuencias de sus formas actuales de producción, que nos pueda llevar a la convicción de que es necesario introducir ciertos cambios enfocados hacia las formas más sostenibles de manejo de los sistemas productivos. (González, 2002)

### **2.3 Calidad de suelo.**

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (Doran y Parkin, 1994).

La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo Carter *et al.*, (1997). El estado de las propiedades dinámicas del suelo, como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o

productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo (Romig *et al.*, 1995).

La preocupación por la calidad del suelo no es nueva [Doran *et al.*, (1996); Karlen *et al.*, (1997); Singer y Ewing, (2000)]. En el pasado, este concepto fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación hecha entre tierras y suelo. Tierras de buena calidad eran aquellas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión. Para clasificarlas se generaron sistemas basados en esas ideas Doran y Parkin, (1994). Esos incluían términos como tierras agrícolas de primera calidad. El concepto de calidad del suelo ha estado asociado con el de sostenibilidad, pero éste último tiene varias acepciones. Para Budd, (1992), es el número de individuos que se pueden mantener en un área dada. En cambio, para Buol, (1995), el uso del suelo se debe basar en la capacidad de éste para proporcionar elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan, por ende, la productividad. La calidad del suelo, ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó en la década anterior Karlen *et al.*, (1997). Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. A pesar de su importancia, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad.

Las definiciones más recientes de calidad del suelo se basan en la multifuncionalidad del suelo y no sólo en un uso específico, pero este concepto continúa evolucionando Singer y Ewing, (2000). Estas definiciones fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America Karlen *et al.*, (1997) como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

Algunas de las propiedades que afectan la calidad del suelo, son la profundidad disponible para la exploración de las raíces, pH, salinidad, capacidad de intercambio catiónico, Nitrógeno mineralizable, presencia de plantas patógenas, biomasa microbiana del suelo entre otras. Estas propiedades son influidas hasta cierto grado

por la forma como se maneja el suelo y la elección de los futuros cultivos (Magdoff, 1997).

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

La puesta en práctica de sistemas de manejo más sustentables es imperativa, para frenar las pérdidas de suelo y biodiversidad. Las estadísticas sobre agricultura orgánica, labranza cero y agricultura de conservación, muestra cada vez más grupos de agricultores que se están organizando, gestionando apoyos en incentivos a los gobiernos y están manteniendo y recuperando gradualmente el recurso suelo. Un ejemplo de ello son 58 millones de hectáreas de tierra, principalmente de América (45% en América Latina), se encuentran en labranza cero Astier, (2002). Los elementos claves que se repiten en las propuestas de manejo para el mantenimiento y la restauración de los suelos, tienen que ver con el desarrollo de sistemas más eficientes desde el punto de vista nutricional y conservadores de la materia orgánica del suelo.

El uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan principalmente la dirección y el grado de los cambios en su calidad, en el tiempo y en el espacio. Al respecto, los estudios parecen orientarse decididamente a identificar, en distintas regiones del mundo, indicadores que permitan estimar el estado actual y las tendencias en la calidad de suelos como paso fundamental para definir sistemas de producción sustentables. Beare *et al.*, (1997), plantearon la necesidad de desarrollar sistemas de monitoreo (soil quality monitoring system) tendientes a evaluar cambios en la calidad de los suelos que reflejen el grado de sostenibilidad de diferentes prácticas de manejo. Bolinder *et al.*, (1999) señalaron que la respuesta que se obtiene de distintos indicadores de la calidad del suelo a diferentes prácticas de manejo resulta clave para identificar aquellos más sensibles (robust minimum data set). **Si bien los indicadores físicos, químicos, bioquímicos y biológicos no determinan independientemente la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica**

(MO) es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad. Reeves, (1997) al analizar el rol de la materia orgánica en el mantenimiento de la calidad de los suelos señala que el CO es el atributo frecuentemente más reportado desde estudios de larga duración y es escogido como el indicador más importante de calidad del suelo y de sostenibilidad agronómica.

La materia orgánica representa la fracción biológica del suelo, está constituida por dos grupos principales: un grupo transformado o "fracción estable", orientada a la conservación y estabilidad del suelo; y un grupo fresco o "fracción lábil", conformado por restos de animales y plantas en diferentes estados de descomposición; dirigida principalmente a la fertilidad del suelo Labrador, (1996). Estudios sobre la actividad biológica del suelo, generalmente se han realizado con propiedades relacionadas con esta última fracción, tales como: respiración edáfica, biomasa microbiana, actividades enzimáticas, microorganismos, etc.; estas propiedades biológicas y bioquímicas han demostrado ser más sensibles y con gran potencialidad para estimar la calidad biológica del suelo, por ser herramientas valiosas en la interpretación de la dinámica de materia orgánica y en procesos de transformación de los residuos orgánicos, además dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensitivas al estrés ambiental y fáciles de medir (Bandick y Dick, 1999).

Campbell *et al.*, (1999) al evaluar los efectos de labranzas y frecuencias de barbechos también comprobaron que luego de 4 y 8 años las fracciones lábiles y no el contenido total de N y MO resultaron más sensibles a los distintos tratamientos. Este incremento en la fracción joven de la MO resultó dependiente del aporte anual de residuos de cultivos. Cambios en los contenidos de materia orgánica atribuibles al manejo afectarían los niveles y rango de variación de algunas propiedades físicas de los suelos. Por ejemplo, los suelos bajo agricultura convencional en la Región Semiárida Pampeana (RSP) han experimentado aumentos en la densidad aparente y susceptibilidad a la compactación, y disminución de la estabilidad estructural en húmedo, la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica (Quiroga, 1994).

Estos cambios físicos en el suelo afectarían significativamente la tasa de mineralización y contenidos de materia orgánica Schimel *et al.*, (1985). En mayor grado la tasa de

mineralización del nitrógeno Hassink *et al.*, (1993), condicionando la productividad de los cultivos. El incremento en la microagregación y biomasa microbiana son los principales mecanismos que ocurren bajo labranzas conservacionistas relacionados con el secuestro de C (Lal y Kimble, 1997).

La multiplicidad de variables que se han considerado como indicadoras de calidad, resultado de los diferentes aspectos del suelo evaluados (físicos, químicos, bioquímicos, biológicos), hacen imprescindible el uso de metodologías que permitan identificar las variables que posean mayor incidencia para las condiciones específicas de cada sitio Parr y Papendick, (1997). La selección de indicadores (propiedades edáficas fundamentales para agrupar los suelos en clases o categorías de acuerdo con la calidad relativa de los mismos. Sin embargo, se comprobó que las diferencias entre los estudios, en las escalas y en la percepción de la calidad de los suelos, genera cierta incertidumbre entre los potenciales usuarios; Karlen *et al.*, (1997). El simple reporte y cuantificación de parámetros individuales no es suficiente dada la interacción de componentes físicos, químicos y biológicos que resultan determinantes de la calidad de los suelos. Torstensson *et al.*, (1998) sostuvieron que el análisis de componentes principales resulta de suma utilidad para evaluar el complejo set de datos compilado en este tipo de estudios. Stenberg, (1998) al evaluar aspectos físicos, químicos y biológicos de los suelos destacó la importancia de las técnicas de análisis multivariado (componentes principales), las cuales facilitaron la clasificación de los suelos en tres categorías: buena, normal y baja calidad. Wander y Bollero, (1999) también utilizaron análisis multivariado para evaluar cambios en la calidad de los suelos por efecto de la siembra directa. En Haplustoles Enticos de la RSP, mediante el uso de análisis discriminante y de componentes principales fueron seleccionadas variables edáficas más sensibles a cambios producidos por el manejo, y consecuentemente de mayor valor diagnóstico (materia orgánica, susceptibilidad a la compactación y estabilidad estructural en húmedo).

### **2.3.1 Indicadores de la calidad del suelo**

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, la disminución en su calidad y su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, no existen criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo Arshad

y Cohen, (1992). Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición Dumanski *et al.*, (1998). Según Adriaanse, (1993) los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él SQI, (1996). Para Dumanski *et al.*, (1998) dichos indicadores, no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos, con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Tal posición no es compartida por los autores del presente trabajo, quienes sostienen que los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan, como lo ha sugerido Astier *et al.*, (2002). Hünemeyer *et al.*, (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

[Goodland y Daly, (1996); Hünemeyer *et al.*, (1997)] reconocen como elemento implícitos en el concepto sostenibilidad: la dimensión económica, la social y la ecológica. La sostenibilidad ecológica se refiere a las características fundamentales para la supervivencia que deben mantener los ecosistemas a través del tiempo en cuanto a componentes e interacciones. La sostenibilidad económica implica la producción a una rentabilidad razonable y estable a través del tiempo, lo cual haga atractivo continuar con dicho manejo. Y, la sostenibilidad social aspira a que la forma de manejo permita a la organización social un grado aceptable de satisfacción de sus necesidades. El manejo sostenible puede, por lo tanto, significar distintas cosas según la función principal del recurso o del momento histórico en que se hace una evaluación. El desarrollo agrícola sostenible abarca las tres vertientes. No parece posible optimizar

simultáneamente cada uno de los tres componentes de la definición anterior, lo más conveniente es definir ciertos límites aceptables para cada uno de ellos y optimizar primero uno, procurando que la intensidad de los otros dos se ubique en el límite aceptable para ese momento y condición particulares. Con el transcurso del tiempo, los tres objetivos deberían ir acercándose a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes. A su vez Hünнемeyer *et al.*, (1997) propone un enfoque para la definición de indicadores. El cual hace que los indicadores de calidad del suelo puedan considerarse dinámicos en el tiempo. Por lo que para cada momento histórico o situación particular habría que buscar un equilibrio entre los tres objetivos del desarrollo sostenible.

### **2.3.2 Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo.**

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones Doran y Parkin, (1994):

a) describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Doran y Parkin, (1994) y Seybold *et al.*, (1997) plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo. Los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo Arshad y Cohen, (1992). La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental. La identificación es compleja por la multiplicidad

de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio (Doran *et al.*, 1996).

### **2.3.2.1 Indicadores físicos**

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

### **2.3.2.2 Indicadores químicos**

Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos SQI, (1996). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

### **2.3.2.3 Indicadores biológicos**

Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana [SQI, (1996); Karlen *et al.*, (1997)]. Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación  $C_{\text{microbiano}} : C_{\text{orgánico}}$  del suelo

para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997).

#### **2.4 Algunas consideraciones sobre Degradación, Medio Ambiente y Calidad de suelo.**

De acuerdo con estas ideas, no habría un enfoque único para generar un conjunto de indicadores para cada propósito. Los enfoques pueden cambiar con el tiempo conforme incrementa el entendimiento de los problemas ambientales y conforme los valores sociales evolucionan. Uno de los enfoques ampliamente utilizados por lo inmediato de su comprensión es el que trabaja la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). Se trata del sistema presión-estado-respuesta, el cual se basa en una cadena de causalidades donde se entiende que las actividades humanas originan presiones sobre el ambiente (indicadores de presión) que modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (indicadores de estado) en virtud de lo cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta) OECD, (1993). Dentro del enfoque presión-estado-respuesta, la OECD, (1991, 1993, 2003) ha propuesto algunos indicadores ambientales que se relacionan con la calidad del suelo. Dos de ellos son indicadores para el riesgo de erosión hídrica y riesgo de erosión eólica. Recientemente la OECD, (2003) ha propuesto indicadores de acumulación de C en el suelo. Por la urgencia de contar con herramientas que permitan evaluar la evolución de este recurso natural se continúa trabajando en la materia. Adicionalmente, esta organización ha instado a sus miembros a establecer indicadores nacionales de diversa naturaleza, entre ellos de calidad del suelo. En los Estados Unidos de América se ha constituido el Soil Quality Institute SQI, (1996), organismo encargado de difundir entre los productores agrícolas los principios básicos de los indicadores de calidad del suelo y a proponer metodologías simples para realizar mediciones.

El suelo, a diferencia del agua y el aire, es un recurso natural sin estándares de calidad definidos, debido a su variabilidad, por lo tanto, es casi imposible establecer una simple medida física, química o biológica que pudiera reflejar adecuadamente la calidad; sin tomar en consideración otros factores que afectan la formación y funcionamiento del mismo

Esto dificulta definir, medir y regular la calidad de este recurso Bandick y Dick, (1999). Por otra parte, se ha señalado que la calidad del suelo es uno de los factores más importante para la sostenibilidad de la biosfera global, ésta pudiera ser definida de diferentes formas incluyendo los principios de productividad, sostenibilidad y calidad ambiental. Para cuantificar la calidad del suelo los indicadores necesitan ser medidos espacialmente, a través de la evaluación de las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), las cuales deben ser: fáciles de medir y sensibles a cambios generados por las prácticas de manejo, cuyos valores indicarían la calidad.

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo. Hay necesidad de contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de calidad de suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sustentables (Dalurzo *et al.*, 2002).

El desarrollo de tales indicadores debe hacerse con base en las funciones del suelo que se evalúan; considerando aquellas propiedades edáficas sensibles a los cambios de uso del suelo. En materia de calidad de suelo, se requiere ampliar la perspectiva original enfocada sólo a suelos agrícolas para incluir también suelos forestales de ecosistemas naturales y modificados con fines específicos como el urbano o el pecuario. Queda mucho por hacer, pero los primeros pasos ya se han dado (Bautista, 2004).

Dado que las funciones del suelo están claramente interrelacionadas, para describir la calidad de un suelo en particular puede otorgarse mayor o menor peso a cada una de ellas o de las propiedades que las integran; así la calidad del suelo ésta determinada en última instancia por los usos a los cuales se destine éste y el ecosistema en el cual se está realizando la evaluación. Los criterios para seleccionar indicadores de calidad serán diferentes para los diversos usos del suelo y son dinámicos en el tiempo (Astier, 2002).

Por las razones anteriores en la literatura de países desarrollados se reportan diferentes indicadores de calidad cualitativos y cuantitativos; necesariamente esos indicadores se relacionan con el grado de desarrollo en los aspectos económicos, sociales y ecológicos del área en particular, siendo específicos para esa situación y en

consecuencia varían en número y tipo de acuerdo a las zonas agroecológicas, factores agroclimáticos y sistemas de manejo.

Si se acepta que existen diversos conceptos de lo que representa o debe ser la calidad del suelo, entonces pueden utilizarse diversas aproximaciones o marcos metodológicos para seleccionar a los indicadores.

Así, partiendo de un enfoque funcional Bautista, (2001), propuso como indicadores de calidad del suelo, en bosques mesófilos de la Sierra Norte de Oaxaca, a las propiedades que resultaron tener un mayor peso dentro de un análisis de componentes, y luego las integró en funciones similares a las señaladas con anterioridad.

Masera, *et al.*, (1999) consideraron primeramente los atributos que debería tener un sistema agrícola sostenible (productividad, estabilidad y resiliencia) y tomándolo como base seleccionó indicadores para sistemas agrícolas en suelos de ladera en la Cuenca del Lago Zirahuén.

## **2.5 El uso de Abonos Orgánicos y Minerales Naturales.**

Los suelos constituyen el elemento indispensable donde se aplicarán los fertilizantes ecológicos, ya que ellos son el sostén y el sustento de los cultivos agrícolas, las propiedades de los suelos determinan, en última instancia, que el sistema de cultivos se puede desarrollar de manera sostenible en ellos y que demanda de nutrientes que requieren las plantas para proporcionar rendimientos adecuados (Muñiz, 2001).

La fertilidad natural de un suelo virgen, viene dada por el equilibrio entre el suelo y su vegetación, la fertilidad adquirida es un término que se asocia a suelos cultivados donde el hombre ha intervenido.

Según Cabrera y Bouzo, (1999) en la actualidad escasean las materias primas para la producción de fertilizantes y los precios se incrementan, por lo que obtener una alta eficiencia se hace cada vez más necesario, especialmente en las condiciones naturales del trópico; altas temperaturas abundantes lluvias y características de los suelos donde aumentan las pérdidas de fertilizantes por diferentes vías, causando pobre utilización de los mismos.

Por otra parte Peñaloza *et al.*, (2000) plantean que la oferta de fertilizantes, abonos orgánicos y abonos verdes no puede cumplir con la demanda, porque el reciclaje de desechos orgánicos es limitado y con frecuencia los abonos verdes compiten con los cultivos. Generalmente la mejor opción técnica y financiera es usar fertilizantes orgánicos e inorgánicos juntos.

Morales, y Díaz, (2003) considera que la fertilidad del suelo es entendida en su expresión más amplia como la transformación de la materia orgánica en humus, el cual al unirse a la arcilla forma el complejo arcillo-húmico; asegurando a su vez la formación de agregados estables en el suelo, una bioestructura favorable a la retención y circulación del agua y por tanto la penetración de las raíces de la plantas en el suelo.

Rodríguez y Pérez, (1999) aplicó a un suelo oscuro plástico diferentes fuentes minerales (zeolita, caliza fosfatada, ceniza y dolomita) en condiciones controladas y logró demostrar que las mismas pueden mejorar las características del suelo tanto físicas como químicas, además de aumentar el pH del suelo, así como el contenido de fósforo y materia orgánica. Resultados muy similares obtuvo Cabrera, (1998) en un estudio sobre la aplicación de fuentes minerales y compost en un suelo Ferralítico Rojo en la estación experimental "Pedro Lantigua" de Remedios, logró aumentos significativos en el contenido de fósforo asimilable y además que aumentara también capacidad de intercambio catiónico especialmente en aquel tratamiento en que se combinó Dolomita + Compost, pasando de una forma desaturada a saturada que permite una mayor absorción de los nutrientes.

Gambaudo y Micheloud, (2003) realizaron un estudio con el objetivo de observar la residualidad de los efectos producidos por la dolomita, logrando variaciones en las propiedades químicas del suelo, lo cual se tradujo en incrementos importantes de rendimiento en el cultivo, determinando además que la eficiencia de utilización de una enmienda granulada mejora considerablemente cuando se le incorpora con anticipación a la fecha de siembra, a la vez que deja un efecto residual en el complejo de intercambio, que favorecerá el desarrollo del cultivo posterior.

Los suelos Ferralíticos Rojos también han sido beneficiados por esta roca, al ser aplicada por Aguiar, (1997) combinándola con el compost, demostró que existen

mejoras en el pH, así como el fósforo asimilable del suelo. Cabrera, (1998) aplicando algunas combinaciones entre las que se incluye la dolomita en un suelo Pardo con carbonato, determinó que entre los tratamientos aplicados, se lograron los mejores resultados en aquel, en que se combinó la dolomita y compost y se tradujo en mejoras en la estabilidad del suelo así como en la porosidad y % de aireación, con lo cual aumentó el contenido de humedad del suelo que además se conservara la estructura del mismo.

# *Materiales y Métodos*



### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Características y diseño.**

El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias, adjunto a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. El sustrato utilizado en el estudio fue un suelo Ferralítico Rojo Compactado tomado de la antigua Estación Experimental “Pedro Lantigua” en Remedios.

#### **3.2 Característica del sustrato.**

##### **3.2.1 Suelo Ferralítico Rojo.**

Horizonte subsuperficial según (Hernández *et al.*, 2006) se caracteriza por:

- Predominio de minerales arcillosos del tipo 1:1, que pueden alcanzar hasta 10 % de tipo 2:1 del contenido total de la fracción arcillosa.
- Capacidad de intercambio catiónico  $< 20 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  en arcilla.
- Relación  $\text{SiO}_2: \text{Al}_2\text{O}_3$  menor de 2,3 en arcilla.
- Contenido de minerales alterables menor de 10 % de la fracción entre 20 y 200 micros.
- Contenido menor de 60 % de sesquióxidos de hierro en la fracción  $< 2$  micros.
- Contenido de hierro libre en relación al hierro total mayor de 60%.
- Estructura con agregados finos o muy finos, microagregados redondeados.

La zona escogida para el muestreo fue un área de explotación intensiva perteneciente a la empresa de Cultivos Varios “Remedios”, el mismo se realizó a la profundidad de 0-20 cm, el suelo fue secado al aire y tamizado (4 mm). Los experimentos se realizaron en condiciones controladas, en cada una de las macetas se puso 1 kg de este suelo y se sembraron 8 semillas de maíz (*Zea mays L.*), como planta indicadora, luego de la germinación se redujo a cuatro el número de plantas. Las mismas se mantuvieron por 35 días, posteriormente se les determinó altura, peso fresco y peso seco. Durante el desarrollo del experimento el suelo se mantuvo al 80% de su capacidad de campo correspondiente. Luego de cortadas las plantas, el suelo de las bolsas se secó al aire libre, una parte de este fue tamizado por, (un tamiz de 0.5 mm) para realizar los análisis químicos y el resto por (un tamiz de 2 mm) para realizar los análisis físicos. El diseño experimental utilizado fue, el completamente aleatorio.

### 3.3 Descripción de los experimentos.

#### 3.3.1 Estudio de niveles de Fosforita.

Para ellos se establecieron 6 tratamientos con 4 réplicas cada uno. Las dosis aplicadas fueron: 0, 2, 4, 6, 8 y 10  $\text{tha}^{-1}$ .

#### 3.3.2 Estudio de la combinación de compost y su interacción con otros materiales alternativos.

Para ello se establecieron 9 tratamientos con 4 réplicas y se aplicaron las siguientes combinaciones:

1. Testigo
2. NPK (75, 35 y 110  $\text{kg ha}^{-1}$ )
3. Zeolita  $4\text{tha}^{-1}$  + Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .
4. Caliza fosfatada  $4\text{tha}^{-1}$  + Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .
5. Fosforita  $4\text{tha}^{-1}$  + Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .
6. Ceniza  $10\text{tha}^{-1}$  + Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .
7.  $\text{CO}_3\text{Ca}$   $4\text{tha}^{-1}$  + Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .
8. Dolomita  $4\text{tha}^{-1}$  + Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .
9. Compost  $4\text{tha}^{-1}$ .

**Tabla. 1 Composición química de los minerales naturales empleados.**

Material	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MgCO <sub>3</sub>	CaO	CaCO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
	(%)										
<b>Zeolita</b>	57,06	11,91	4,09	1,33	1,45	-	9,35	-	1,89	-	-
<b>Dolomita</b>	0,26	0,20	0,04	-	17,92	-	34,24	-	-	-	-
<b>Caliza fosfatada</b>	9,25	4,16	3,24	-	-	0,29	-	85,27	-	3,74	42,18
<b>Fosforita</b>	-	1,85	2,09	-	-	-	-	60,00	-	9,72	-

Tabla. 2 Composición química de los residuos de la caña de azúcar.

Material	N	P	K	Ca	Mg	Na
	(%)					
Compost	2.9	0.80	0.40	3.5	-	-
Cachaza	1.95	1.65	0.45	2.75	-	-
Ceniza	0.27	0.51	2.05	5.82	0.93	0.13

### 3.3.3 Estudio de combinaciones organo minerales.

Se aplicaron al suelo 8 tratamientos con 4 réplicas cada uno y se establecieron las siguientes combinaciones aplicando de cada una  $4\text{t ha}^{-1}$  (3:1): Testigo, NPK (50-50-50  $\text{kg ha}^{-1}$ ), Compost + Zeolita, Compost + Dolomita, Humus + Zeolita, Humus + Dolomita, Cachaza + Zeolita, Cachaza + Dolomita.

Tabla. 3 Composición química de las combinaciones organo minerales.

Organo - Mineral	pH	CE	N	P	K	Ca	Mg	MO	C
	(dsm <sup>-1</sup> )			(%)					
Cachaza	8.2	1.05	3.11	2.00	0.41	1.56	2.08	42.25	24.51
Cachaza + Dolomita	8.4	0.64	2.15	1.20	0.23	10.42	1.85	23.81	13.81
Cachaza + Zeolita	8.2	0.90	2.51	1.85	0.41	3.24	0.80	40.45	23.46
Compost	7.5	1.10	4.00	0.28	0.62	1.18	1.56	48.60	28.19
Compost +Dolomita	8.0	0.63	1.88	0.19	0.36	12.94	2.08	18.00	10.44
Compost + Zeolita	7.5	1.05	3.60	0.26	0.56	0.76	1.58	47.08	27.31
Humus	7.4	2.60	2.38	1.80	0.45	0.2	2.11	38.95	22.59
Humus + Zeolita	8.2	2.45	2.81	1.65	0.39	0.08	2.11	37.15	21.55
Humus + Dolomita	7.7	1.35	2.08	0.66	0.25	10.12	5.52	21.36	12.39

### 3.3.4 Estudio de niveles de Gallinaza.

Para ello se establecieron 6 tratamientos con 4 réplicas cada uno, las dosis de gallinaza aplicadas fueron: 0, 2, 4, 6, 8, 10  $\text{tha}^{-1}$ .

**Tabla. 4 Composición química de la gallinaza utilizada.**

Gallinaza										
C/N	N	P	K	Ca	Mg	M.O	C	CE	pH (KCl)	pH (H <sub>2</sub> O)
(%)							(dsm <sup>-1</sup> )			
13.32	1.96	0.55	2.65	4.52	0.78	45.0	26.1	5.6	8.3	8.6

### 3.3.5 Estudio de la aplicación de la Caliza Fosfatada y su interacción con otros materiales alternativos.

1. Testigo.
2. NPK (75-35-110  $\text{kg}\text{ha}^{-1}$ ).
3. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$ .
4. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + K
5. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  +NK
6. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + NPK
7. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$ + Cachaza 50  $\text{tha}^{-1}$
8. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + Compost 4  $\text{tha}^{-1}$
9. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + Ceniza 10  $\text{tha}^{-1}$
10. Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + Zeolita 4  $\text{tha}^{-1}$

### 3.4 Análisis realizados.

#### 3.4.1 Análisis Químicos

- **pH (H<sub>2</sub>O) y (KCl):** Para hacer este análisis se utilizó el método potenciométrico con una relación suelo-solución 1:2,5.
- **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O asimilables:** Según Oniani, utilizando una solución extractiva de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 0,1N. El fósforo se determinó por colorimetría y el potasio por fotometría de llama.
- **Materia Orgánica:** se determinó por colorimetría según Walkley y Black.

Los análisis químicos se realizaron según NRAG279, (1980).

#### 3.4.2 Análisis Físicos

- **Coefficiente de permeabilidad:** Aporta una importante información sobre el estado físico y está muy relacionado con el carácter del complejo absorbente. Se determinó según el método de Henin *et al.*, (1958) citado por Cairo y Fundora (1994) donde se calcula el log 10 del coeficiente K para cada muestra con la utilización de un infiltrómetro según la fórmula:

$$K = e * V / H * S$$

Donde, **K** - coeficiente de percolación.

**e** - altura de la columna de suelo (mm).

**V** - volumen en mm del agua percolada en una hora (mm<sup>3</sup>).

**H** - altura de la columna líquida o lámina de agua.

**S** - área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar (mm<sup>2</sup>).

- **Factor de estructura (FE):** Se halla mediante la determinación de la arcilla sin dispersar (b) y la arcilla previamente dispersada, según el análisis mecánico(a): Vageler y Alten *citado por* Cairo, (2001)

$$FE = a - b / 100 * a$$

- **Agregados Estables al Agua:** este método consiste en añadir 5 g de suelo en un erlenmeyer, vertir 200 ml de agua destilada y dejar en reposo 30 minutos. Luego se somete la solución a golpeteo (40 golpes), durante 40 segundos y se pasa por un tamiz con diámetro de 0.2 mm. Lo que queda en el tamiz son los agregados estables [Henin *et al.*, (1958) citado por Cairo, 2000a].
- **Límite Superior de Plasticidad (LSP):** se determinó por el método del Cono de Balancín de Basilev. Este método consiste en determinar la humedad de una pasta de suelo – agua cuando el cono de Balancín penetra en ella 1 cm en 5 seg.
- **Límite Inferior de Plasticidad (LIP):** se determinó por el método de los rollitos de Atterberg. Este método consiste en determinar la humedad de un rollito de pasta suelo – agua de 3 mm cuando este se divide en roturas irregulares.
- **Índice de plasticidad (IP):** se determina por la diferencia numérica entre los límites superior e inferior.

#### **3.4. 2 Evaluación de los indicadores crecimiento de las plantas de maíz.**

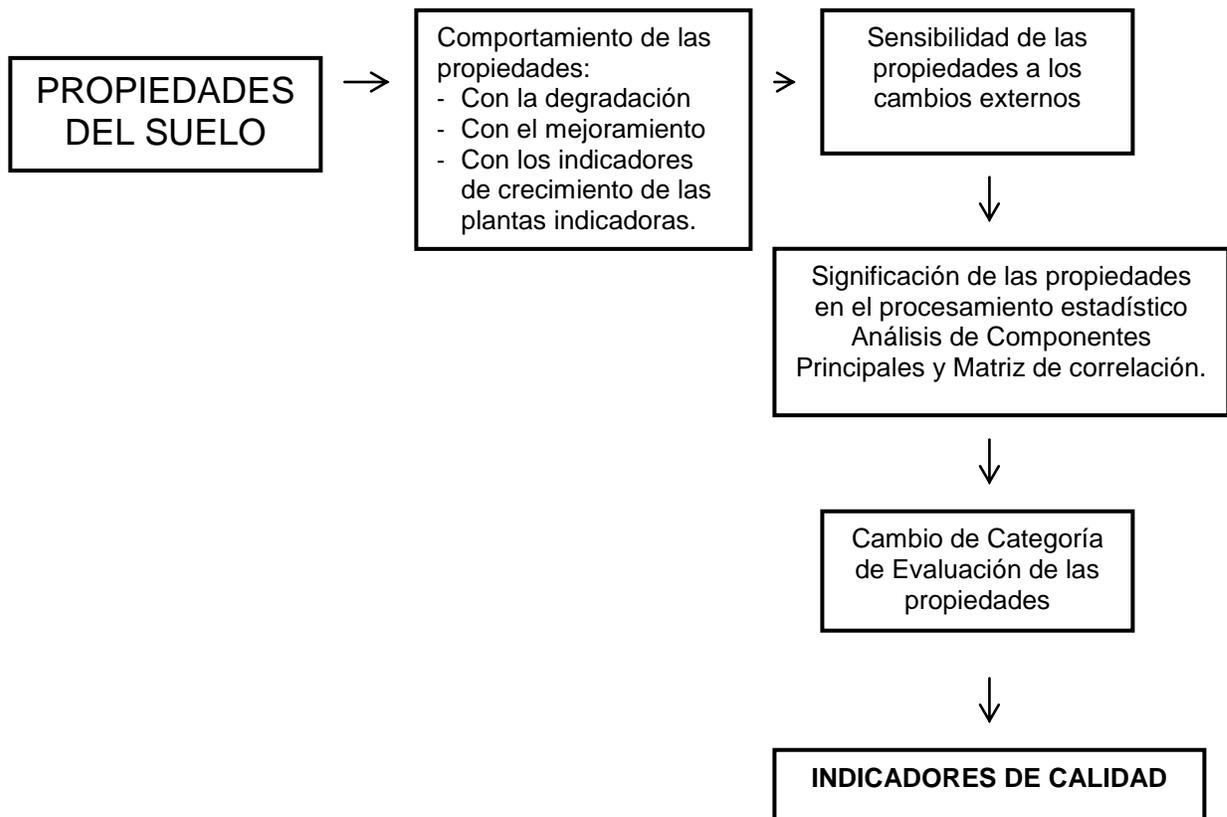
Se evaluó (altura, peso fresco y peso seco) de la planta indicadora.

**Peso fresco** (g): se pesó la planta recién cosechada en una balanza técnica.

**Peso seco** (g): las muestras fueron puestas en la estufa a 65 ° C durante 48 horas y luego fueron pesadas en una balanza técnica.

**Altura** (cm): se midió la altura de las plantas con una cinta métrica.

### 3.5 Metodología para la obtención de los Indicadores de Calidad.



**Figura 1. Procedimiento para la obtención de los indicadores de calidad propuesto por Morales y Díaz, (2003) y Reyes, (2006).**

La selección de los indicadores de calidad de suelo presentados en la investigación, tiene su fundamento teórico en las investigaciones realizadas por diferentes autores entre ellos se destacan: NSSC, (1996); Hünemeyer *et al.*, (1997); Borreterán y Zinck, (2000); Singer y Ewing, (2000); Astier *et al.*, (2002); Reyes, (2006); Tandrón, (2005) y Torstensson *et al.*, (1998).

#### **Comportamiento de las propiedades**

En este caso se analizan aquellas propiedades que indican valores extremos.

- a) Degradación: suelo sin aplicación de enmiendas (Testigo).

- b) Mejoramiento: respuesta a las diferentes variantes de fertilización orgánica y minerales naturales para minimizar los problemas degradativos.
- c) Indicadores de crecimiento de las plantas indicadoras: respuesta de los indicadores de las plantas, ante las enmiendas aplicadas.

### **Sensibilidad de las propiedades a los cambios externos**

Este paso está muy vinculado con el anterior, se descartan aquellas propiedades que no muestran sensibilidad ante el efecto de los distintos materiales orgánicos y minerales aplicados al suelo. Es un paso fundamental para determinar las propiedades que no cumplen los requisitos para ser indicadores de calidad.

### **Significación de las propiedades en el procesamiento estadístico**

En este paso se someten las propiedades analizadas en cada experimento, a un fuerte análisis estadístico a través de la matriz de correlaciones entre las propiedades para determinar la que más correlacionan; relaciones entre las propiedades físicas y de estas los indicadores de crecimiento para la construcción de curvas que permitan definir valores a alcanzar por lo indicadores seleccionados y análisis de componentes principales sobre la base de su ubicación y grado de significación.

### **Cambios de categorías de evaluación de las propiedades**

En este aspecto fue necesario tener en cuenta para las propiedades físicas, los criterios de evaluación propuestos por Cairo, (2000a) referidos al estudio de alternativas de mejoramiento de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar.

### **Indicadores de calidad**

Todo este análisis permitió seleccionar varias propiedades de suelo que se integran como indicadores en el diagrama, para evaluar las tendencias a la degradación o el mejoramiento. Cuando existe una aproximación al diagrama propuesto en las comparaciones significa que se ha hecho un manejo ecológico al contrario de cuando se aleja, en este caso queda demostrada la necesidad de aplicar al sustrato las enmiendas.

### **3.6 Validación del diagrama de calidad propuesto.**

En la validación del diagrama para el suelo Ferralítico Rojo Compactado se seleccionaron campos de producción con diferentes sistemas de manejos típicos, en zonas aledañas a la del muestreo, estos incluyeron: Agricultura Convencional (Cultivos Varios; dedicados fundamentalmente a papa y plátano) con 43 años de establecido, Caña (50 años de establecido) y Bosque Natural (65 años de establecido) como referencia, resultados obtenidos mediante el recorrido y entrevista con los pobladores de la zonas estudiadas. Para el diagnóstico del estado de calidad de los suelos se tomaron 5 réplicas de 4 zonas de muestreo a la profundidad de 0-20 cm, las mismas fueron preparadas para realizar el análisis correspondiente teniendo en cuenta los indicadores de calidad seleccionados.

### **3.7 Procesamiento estadístico.**

A partir de los análisis realizados a los experimentos, se construyó una base de datos fundamental para establecer las relaciones entre las propiedades.

Se utilizó el paquete de programas profesional STATGRAPHICS Plus Versión 5.0 y SPSS ver 11.0 sobre Windows 2000. Con algunas variables se aplicó un análisis de varianza de clasificación simple con previa comprobación de los supuestos de base del mismo y posteriormente la prueba de Duncan en la comparación de las medias de los tratamientos. Se estableció además una matriz de correlación con el objetivo de discriminar aquellas variables que no tenían un alto porcentaje de correlación con el resto, se realizó el análisis de componentes principales y se establecieron análisis de regresión, para determinar la relación existente entre las propiedades y el grado de dependencia entre ellas.

# *Resultados y Discusión*



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 La materia orgánica y su relación con el estado estructural en los diferentes experimentos estudiados.

Al estudiar el estado de la materia orgánica bajo las condiciones de un experimento en el que se aplican dosis de fosforita (Tabla 1), se evidencian incrementos hasta de un 0.84 % con respecto al testigo. Aunque en este indicador no se logran grandes cambios cuantitativos, es de destacar el efecto de los tratamientos sobre el mismo, en el que se aplican  $8 \text{ tha}^{-1}$  de fosforita cambia a la categoría de mediano con respecto a bajo en el testigo, coincidiendo con los mejores resultados en los indicadores físicos. Los Agregados Estables y la Permeabilidad alcanzan la categoría de excelente y el Factor de Estructura la de bueno.

Rodríguez, (2003) al estudiar sobre un mismo suelo el efecto de diferentes alternativas de mejoramiento; comprobó que al aplicar la Caliza Fosfatada y la Fosforita en diferentes dosis, provocan aumentos en el pH (KCl) que aunque no originan cambios de categoría si hacen que se mantengan en la categoría de neutro, esto puede explicar lo planteado por Cairo y Fundora, (1994) quienes afirman que la mayor degradación de la materia orgánica ocurre a un pH neutro; condiciones del suelo objeto de estudio, lo cual indica que las bacterias son más efectivas y por consiguiente la estructura del suelo se verá favorecida.

En este sentido tiene mucho que ver el contenido de base del suelo, aportado por la fosforita; que condiciona que se forme un horizonte muy bien humificado y se pone de manifiesto la acción del calcio como regulador de los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica.

**Tabla 1. Influencia de los tratamientos sobre la materia orgánica y su interacción con el estado estructural (Experimento 1).**

Tratamientos	M.O (%)	AE (%)	FE (%)	log 10k	LIP (%)
Testigo	2.97 d	64.50 e	59.03 f	1.79 e	16.49 f
2 $\text{tha}^{-1}$ Fosforita	2.93 e	63.60 e	63.40 e	1.99 d	19.87 e
4 $\text{tha}^{-1}$ Fosforita	2.80 f	70.84 d	70.51 d	2.23 c	23.40 d
6 $\text{ha}^{-1}$ Fosforita	3.17 c	76.56 c	73.10 c	2.33 b	24.97 c
8 $\text{ha}^{-1}$ Fosforita	3.81 a	78.18 b	77.19 b	2.41 a	27.43 b
10 $\text{tha}^{-1}$ Fosforita	3.23 b	81.13 a	79.88 a	2.40 a	29.04 a
<b>EE (X)</b>	± 0.01	± 0.55	± 0.29	± 0.01	± 0.33
<b>CV (%)</b>	10.59	9.30	10.63	10.71	15.79

(a, b, c, d, e, f) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a  $p < 0.05$ .

En el experimento en que se aplica el compost y sus combinaciones con materiales minerales (Tabla 2), el contenido de materia orgánica inicial es bajo, aunque existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y el testigo, no se alcanzan cambios desde el punto de vista cualitativo. Los mayores aumentos se logran al aplicar  $4 \text{ tha}^{-1}$  de compost, lo cual coincide con las variaciones del Factor de Estructura y la Permeabilidad ( $\log 10k$ ), que se manifiestan de regular y adecuado, a bueno y excelente respectivamente.

Es importante destacar que un incremento mínimo de la materia orgánica en este tipo de suelo, provoca un cambio sustancial en el estado estructural, incluso en aquellos casos en los que no se logra cambiar de categoría, poniéndose de manifiesto el efecto positivo de la misma sobre la estructura.

El uso de abonos organo minerales muestra que en la medida en que se incrementa ligeramente el contenido de materia orgánica, incrementan también los indicadores de la estructura, aunque en este caso de manera significativa (Tabla 3). Lo cual justifica nuevamente el papel de la materia orgánica en la formación de los agregados del suelo bajo estas condiciones.

Rivero y Paolini, (2004) estudiaron el efecto de diferentes residuos orgánicos sobre las propiedades físicas de suelos venezolanos y aunque no les fue posible detectar efectos estadísticamente significativos sobre ninguna de las variables físicas evaluadas, detectaron tendencias positivas sobre todas, que pueden resultar agrónomicamente importantes. Por otra parte Pedraza, (2005) al aplicar diferentes dosis de dolomita sobre un suelo Oscuro Plástico logró aumentar ligeramente el contenido de materia orgánica. Resultados muy similares sobre el aumento de la materia orgánica al aplicar minerales naturales, entre ellos la dolomita y la fosforita reportan: Lugones y Torres, (1996); Cairo *et al.*, (1998); Cairo, (2000b); Sherman, (1997) y Vilariño, (2000).

**Tabla 2. Influencia de los tratamientos sobre la materia orgánica y su interacción con el estado estructural (Experimento 2).**

Tratamientos	M.O (%)	AE (%)	FE (%)	log 10k	LIP (%)
Testigo	1.44 b	60.89 f	61.25 d	1.91 e	17.71 c
NPK (75, 35, 110 kg ha <sup>-1</sup> )	2.06 a	65.06 e	70.22 c	1.96 e	18.96 c
Zeolita 4tha <sup>-1</sup> + Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.47 a	77.23 a	75.39 a	2.37 c	26.04 ab
Caliza fosfatada 4tha <sup>-1</sup> + Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.40 a	71.31 d	70.24 c	2.29 d	24.84 b
Fosforita + Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.30 a	76.49 a	72.58 b	2.44 b	26.68 a
Ceniza 10tha <sup>-1</sup> + Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.33 a	75.78 ab	74.82 a	2.33 cd	26.17 ab
CO <sub>3</sub> Ca 4tha <sup>-1</sup> + Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.22 a	71.74 cd	72.07 b	2.52 a	25.20 b
Dolomita 4tha <sup>-1</sup> + Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.40 a	76.71 a	72.78 b	2.53 a	26.04 ab
Compost 4tha <sup>-1</sup>	2.49 a	73.76 bc	75.62 a	2.50 ab	25.26 b
<b>EE (X)</b>	± 0.15	± 0.77	± 0.51	± 0.02	± 0.44
<b>CV (%)</b>	12.37	7.78	5.99	9.72	13.59

(a, b, c, d, e, f) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a  $p < 0.05$ .

**Tabla 3. Influencia de los tratamientos sobre la materia orgánica y su interacción con el estado estructural (Experimento 3).**

Tratamientos	M.O (%)	AE (%)	FE (%)	log 10k	LIP (%)
Testigo	2.68 c	59.91 d	60.62 f	1.92 c	23.06 d
NPK (50-50-50 kg ha <sup>-1</sup> )	2.76 bc	60.59 d	61.17 f	1.88 c	23.73 cd
(4tha <sup>-1</sup> ) Compost + Zeolita	3.32 a	79.14 b	77.12 b	2.39 a	27.89 b
(4tha <sup>-1</sup> ) Compost + Dolomita	2.99 abc	76.36 bc	73.09 c	2.38 a	26.39 bc
(4tha <sup>-1</sup> ) Humus + Zeolita	3.19 ab	76.74 bc	69.35 d	2.20 b	26.60 bc
(4tha <sup>-1</sup> ) Humus + Dolomita	3.07 abc	75.64 c	65.99 e	2.18 b	25.99 c
(4tha <sup>-1</sup> ) Cachaza + Zeolita	3.33 a	83.34 a	79.53 a	2.19 b	29.65 a
(4tha <sup>-1</sup> ) Cachaza + Dolomita	3.19 ab	82.51 a	78.65 ab	2.26 b	29.65 a
<b>EE (X)</b>	± 0.14	± 1.00	± 0.78	± 0.03	± 0.49
<b>CV (%)</b>	7.78	11.88	10.40	8.75	9.28

(a, b, c, d, e, f) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a  $p < 0.05$ .

El efecto de los niveles de Gallinaza sobre la materia orgánica del suelo es significativa (Tabla 4) y a partir de 2tha<sup>-1</sup> de Gallinaza este incremento puede hacer una buena contribución al mejoramiento de la fertilidad de este suelo por la constante degradación de la materia orgánica que tiene lugar en el mismo. Según Mejía, (2005) una alternativa de manejo que permite recuperar las condiciones de fertilidad y aún mejorarlas, es la aplicación de materia orgánica, cuya función primordial es mantener y aumentar el potencial de microorganismos habitantes del suelo con el fin de mejorar las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. Con la aplicación de este material mejoran también las propiedades físicas del suelo coincidiendo con los resultados obtenidos por Rivero *et al.*, (2004) los cuales incorporaron residuos orgánicos vegetales sobre un suelo Alfisol degradado, produciendo modificaciones en las condiciones estructurales manifestadas particularmente, en ligeros incrementos en la porosidad

total y de aireación, en la retención de humedad y en la conductividad hidráulica saturada, así como una ligera disminución en los valores de densidad aparente. Demostraron además que los resultados obtenidos permiten asegurar que, la incorporación de materiales orgánicos constituye una alternativa para el mejoramiento físico del suelo evaluado.

En estudios sobre el efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo; Cuevas *et al.*, (2006) lograron notables mejorías en las condiciones físicas, disminuyendo la densidad aparente cuando aplican lodos urbanos, lo cual es el resultado de la mayor macroporosidad, ya que se generan espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico adicionado y demostraron que los efectos de la aplicación de lodos urbanos son predominantemente físicos, mientras que los efectos químicos y nutricionales dependerán de la composición, tratamiento y método de aplicación, en cuanto a la agregación, las aplicaciones de lodo generan un aumento en la estabilidad de los agregados, resultados muy similares a los obtenidos en este experimento.

La Caliza fosfatada también provocó modificaciones en el contenido de materia orgánica del suelo, aunque no altamente significativas desde el punto de vista cuantitativo, si cambia de la categoría de bajo en el testigo a mediano, cuando es combinada con zeolita y ceniza. Para todos los casos el estado estructural del suelo también es beneficiado por este material (Tabla 5).

**Tabla 4. Influencia de los tratamientos sobre la materia orgánica y su interacción con el estado estructural (Experimento 4).**

Tratamientos	M.O (%)	AE (%)	FE (%)	log 10k	LIP (%)
Testigo	2.30 c	67.75 d	59.43 d	1.85 c	21.75 c
2tha <sup>-1</sup> Gallinaza	2.83 a	73.56 c	62.43 c	2.55 ab	24.91 b
4tha <sup>-1</sup> Gallinaza	2.47 bc	74.00 c	66.58 b	2.53 b	25.02 b
6ha <sup>-1</sup> Gallinaza	2.53 bc	78.62 ab	70.16 a	2.61 a	27.60 a
8ha <sup>-1</sup> Gallinaza	2.66 ab	77.90 abc	71.05 a	2.58 ab	27.22 a
10tha <sup>-1</sup> Gallinaza	2.61 ab	81.34 a	70.49 a	2.60 a	28.69 a
<b>EE (X)</b>	± 0.06	± 1.09	± 0.61	± 0.02	± 0.58
<b>CV (%)</b>	7.77	6.46	6.94	11.37	9.85

(a, b, c, d) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a  $p < 0.05$ .

**Tabla 5. Influencia de los tratamientos sobre la materia orgánica y su interacción con el estado estructural (Experimento 5).**

Tratamientos	M.O (%)	AE (%)	FE (%)	log 10k	LIP (%)
Testigo	2.26 cd	60.34 e	60.82 e	1.77 c	17.57 d
NPK (75-35-110 kg $ha^{-1}$ )	2.31 bcd	58.51 e	59.28 e	1.89 b	16.65 d
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$	2.22 d	77.22 a	76.18 bc	2.55 a	26.89 ab
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ + K	2.21 d	70.37 cd	76.77 ab	2.54 a	25.89 ab
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ +NK	2.55 b	70.21 cd	73.45 d	2.57 a	26.54 ab
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ + NPK	2.53 bc	71.51 cd	74.05 d	2.54 a	27.47 a
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ + Cachaza 50 $tha^{-1}$	2.39 bcd	71.38 cd	73.15 d	2.49 a	26.84 ab
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ + Compost 4 $tha^{-1}$	2.16 d	75.39 ab	73.81 d	2.45 a	25.24 b
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ + Ceniza 10 $tha^{-1}$	3.13 a	72.87 bc	74.38 cd	2.51 a	25.79 ab
Caliza Fosfatada 4 $tha^{-1}$ + Zeolita 4 $tha^{-1}$	3.04 a	68.64 d	78.36 a	2.47 a	26.06 ab
<b>EE (X)</b>	$\pm 0.09$	$\pm 1.23$	$\pm 0.69$	$\pm 0.04$	$\pm 0.66$
<b>CV (%)</b>	14.82	8.79	8.88	12.19	16.20

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Duncan a  $p < 0.05$ .

## 4.2 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de fosforita.

### 4.2.1 Relaciones entre las propiedades físicas.

Los estudios realizados en un experimento bajo condiciones controladas con niveles de fosforita, muestran las relaciones entre el factor de estructura y otras propiedades físicas (Figuras 1-3). Las cuales son notablemente positivas y determinaron una estrecha relación entre el Factor de Estructura y la Permeabilidad (log 10 k), Agregados Estables y Límite Inferior de Plasticidad.

En todos los casos con el aumento de este (Factor de Estructura), aumentan los indicadores antes mencionados, lo cual se tradujo en el consiguiente mejoramiento del estado estructural. Las ecuaciones y valores de  $R^2$  determinados expresan el papel proporcional del Factor de Estructura con el límite Inferior de Plasticidad (LIP), Índice de Permeabilidad (log 10k) y Agregados Estables (AE).

La figura 3 indica la estrecha relación entre el Factor de Estructura y el Límite Inferior de Plasticidad; con valor de  $R^2$  de 98.17 %. Se observa que cuando el factor de estructura alcanza valores del 80 %, el Límite Inferior de Plasticidad puede llegar hasta un 30 % de hbss, lo cual puede considerarse, como la capacidad de campo del suelo.

Estos resultados demuestran que el suelo puede estar en condiciones de laboreo inclusive con una alta humedad de saturación.

Estos resultados corroboran lo planteado por Vizcaíno y García, (2002) los cuales afirman que las enmiendas mejoran y corrigen las características físico-químicas generales del suelo, mientras los fertilizantes orgánicos nutren a las plantas y suministran elementos para su crecimiento; ideal sería, enfatizan que desde el punto de vista agronómico, se suministre un material capaz de aportar un producto de origen orgánico y al mismo tiempo humus, ello aumenta las reservas de nutrientes y la capacidad del suelo de ponerlos a disposición del cultivo.

$\log 10k = 0.0449 + 0.0304 \cdot FE \pm 0.0015$   
 $R^2 = 94.40\% \quad P = 0.0000$

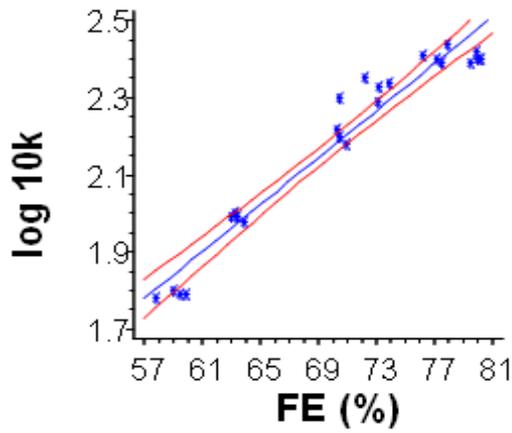


Figura 1. Relación entre el Factor de Estructura y Permeabilidad (log 10k).

$AE = 11.4658 + 0.857967 \cdot FE \pm 0.0529$   
 $R^2 = 92.29\% \quad P = 0.0000$

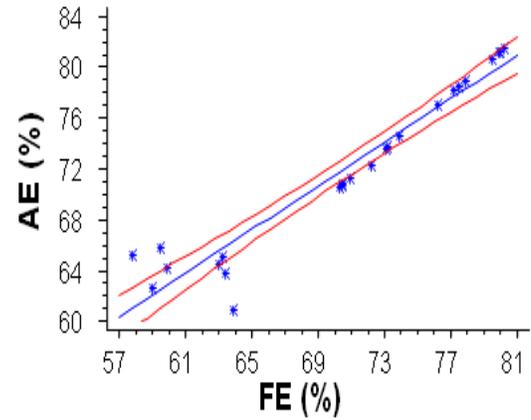


Figura 2. Relación entre el Factor de Estructura y Agregados Estables al Agua.

$LIP = -17.6966 + 0.584668 \cdot FE \pm 0.0169$   
 $R^2 = 98.17\% \quad P = 0.0000$

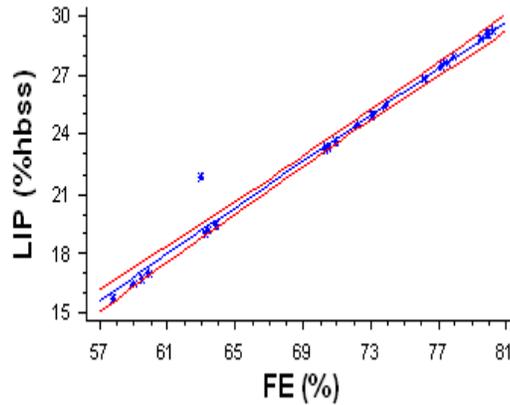


Figura 3. Relación entre el Factor de Estructura y el Límite Inferior de Plasticidad.

#### 4.2.2 Relaciones entre las propiedades físicas y los indicadores de crecimiento de la planta indicadora.

Es evidente la relación positiva existente, entre los indicadores de crecimiento de las planta indicadora y el Límite Inferior de Plasticidad, Factor de Estructura e Índice de Permeabilidad con valores de  $R^2$  entre 0.85 - 0.94 % (Figuras 4-7).

La altura de la planta muestra una tendencia al aumento a medida que se incrementan los indicadores físicos, cuando se relaciona con la permeabilidad, los mayores aumentos se logran con valores por encima de 2.4 (índice evaluado como excelente), en el caso del factor de estructura con valores muy cercanos al 80 % y para el límite inferior de plasticidad alrededor de 29 %; lo cual evidencia que las mejoras en las condiciones estructurales del suelo influyen sobre el buen desarrollo de la planta, lo mismo ocurre para el caso del Peso Fresco en todos los tratamientos en que se aplica la fosforita.

Crespo y Fraga, (2005) en un estudio sobre el efecto de fertilizante mineral y orgánico en el mejoramiento de un campo forrajero de King grass (*Pennisetum purpureum* \* *P. thiphoideo*), en un suelo Ferralítico Rojo, lograron aumentos notables en la altura y demostraron que aplicando  $25 \text{ tha}^{-1}$  de abonos orgánico + fertilizante mineral, se logran aumentar los rendimientos del cultivo, así como el contenido de MO, N y K en el suelo. Resultados muy similares y sobre un suelo Ferralítico Rojo Amarillento, obtuvo Lorenzo, (1992) el cual, al aplicar residuos de la producción de levadura torula; en riego, a suelos dedicados a la caña de azúcar, logró mejoras notables sobre la altura y diámetro de los tallos, al igual que sobre el estado estructural, con  $R^2$  superiores al 90 % y con resultados muy favorables en el rendimiento del cultivo estudiado.

Tandrón, (2005) obtuvo resultados muy positivos en cuanto a la relación existente entre el FE, peso fresco y peso seco de las plantas indicadoras en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, manifestándose el FE, por encima del 65%, cuando se obtienen los mayores valores en estos indicadores. Lora *et al.*, (2006) reportan que con las combinaciones de minerales y abonos orgánicos se logran los mayores aumentos en el rendimiento de la lechuga.

Estos resultados demuestran que los suelos Ferralíticos Rojos en estudio, están mucho más afectados desde el punto de vista estructural, que químico debido a la excesiva fertilización y que la tendencia es, que el crecimiento de las plantas se vea limitado, no por la nutrición, sino por el estado físico del suelo (Cairo, 2007).

Es evidente además que el estado estructural de un suelo, indica no solo el estado de mullimiento que posee, sino que se transfieren al drenaje, aireación, laboreo a la facilidad de las raíces del cultivo para penetrar en el sustrato (Cairo, 2003).

Reyes, (2006) en estudios realizados para la selección de indicadores de calidad, logró determinar que para suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados dedicados al cultivo del café y sometidos a diferentes sistemas de manejo, uno de los indicadores de calidad de suelo fue el factor de estructura (68 %).

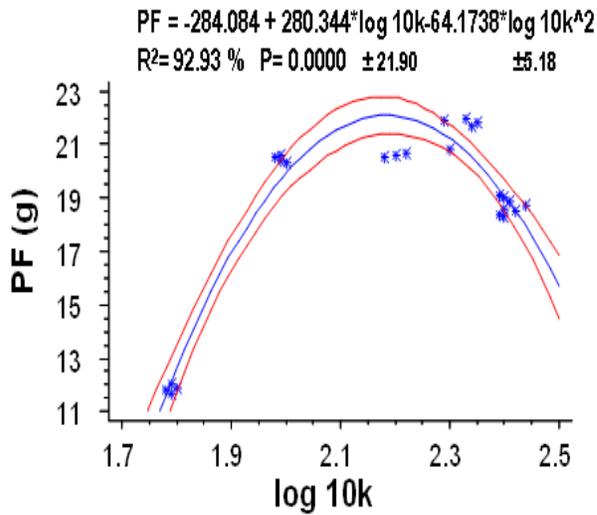


Figura 4. Relación entre Peso Fresco y Permeabilidad (log 10k).

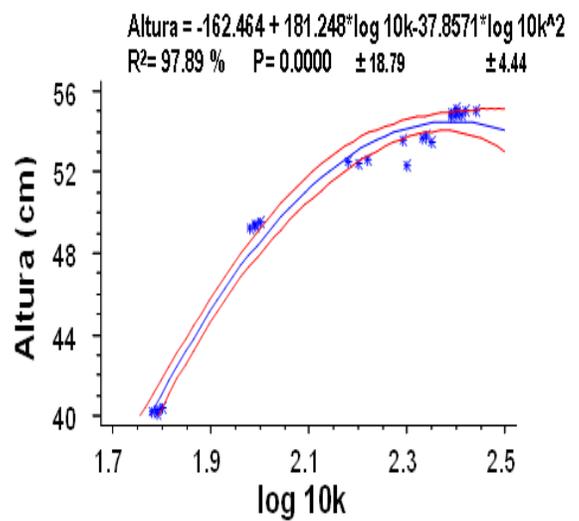


Figura 5. Relación entre la Altura y Permeabilidad (log 10k).

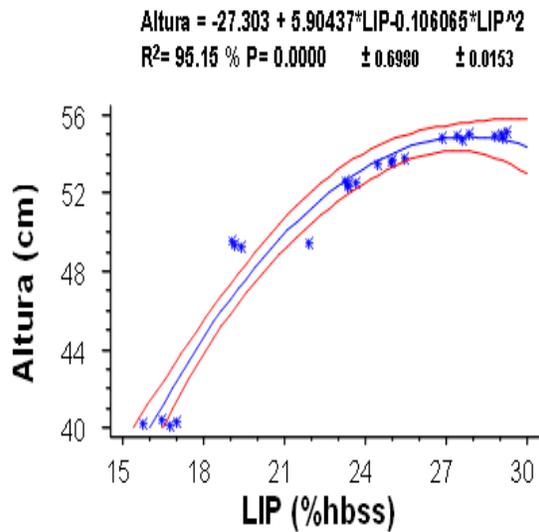


Figura 6. Relación entre la Altura y el Límite Inferior de Plasticidad.

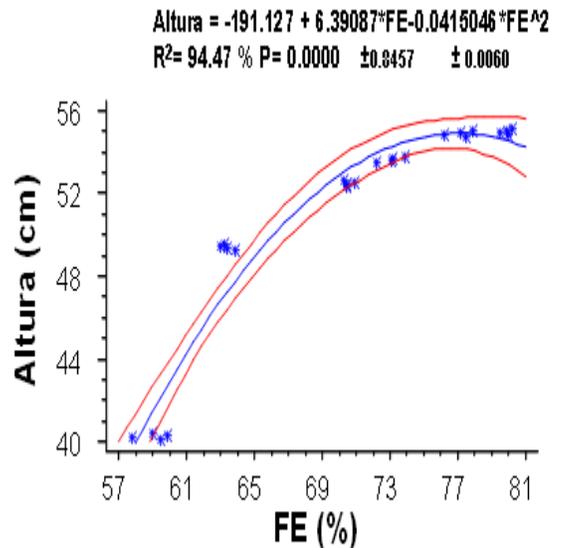


Figura 7. Relación entre la Altura y el Factor de Estructura

### 4.2.3 Análisis de componentes principales.

En la experiencia realizada con las diferentes dosis de fosforita, se logra agrupar a todos los indicadores en un mismo componente (Tabla 6 y 7), que representa el 85.87%; sobresalen log 10k, FE, LIP y la Altura respectivamente con valores de coeficiente de correlación de las variables con el componente; por encima del 95%, lo cual corrobora una vez más los altos coeficientes de correlación existentes entre la altura y estos indicadores y además que dichos parámetros tienen una alta sensibilidad a los diferentes sistemas de manejo de suelo y por consiguiente su estudio puede dar criterios sobre la calidad de este tipo de suelo. La altura ocupa un lugar representativo en este componente poniéndose de manifiesto una vez más lo planteado por Torstensson *et al.*, (1998) que aunque los rendimientos de los cultivos no dependen únicamente de los factores de la calidad del suelo, se mejoran notablemente cuando son optimizados los indicadores que pueden estar afectados junto con medidas a corto plazo.

Tabla 6. Componentes principales para el experimento de dosis de fosforita.

Componente	Total	% de la varianza	% acumulado
1	8.588	85.877	85.877

Tabla 7. Matriz de componentes en el experimento de dosis de fosforita.

Indicadores	Componente
	1
log 10k	.993
FE	.980
LIP	.978
Altura	.960
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.956
pH(H <sub>2</sub> O)	.945
K <sub>2</sub> O	-.938
pH(KCl)	.932
AE	.911
M.O	.615

### **4.3 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo condiciones de un experimento con compost y sus combinaciones con minerales naturales.**

#### **4.3.1 Relaciones entre las propiedades físicas.**

Los estudios realizados bajo condiciones de un experimento en condiciones controladas con compost y combinaciones de este con minerales, evidencian una estrecha relación y dependencia entre los indicadores físicos. Se logró que con el aumento de la agregación del suelo (AE en agua) se incrementen también el resto de los indicadores físicos; con coeficientes de  $R^2$  elevados (Figuras 8, 9, 10). Lo cual demuestra, como un buen estado de agregación de este suelo implica una mayor estabilidad de los agregados, mayor permeabilidad, así como mejor estado de la plasticidad y que como consecuencia, las condiciones para el laboreo del suelo, serán mucho mejor, estos resultados coinciden con los obtenidos por Reyes, (2006) al estudiar el efecto de abonos orgánicos y minerales naturales sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.

Los mayores aumentos de los indicadores se lograron al combinar el compost con los minerales naturales. Para un % de agregados estable de 79, el factor de estructura es de 77% y la permeabilidad alcanza valores por encima de 2.5 alcanzando la categoría de excelente y coincidentes con el experimentos de dosis de fosforita.

Robertson y Thorburn, (2001) obtuvieron resultados muy similares al emplear residuos orgánicos que condicionan la humificación por parte de microorganismos edáficos y por tanto aumentos significativos de propiedades como Factor de Estructura, Agregados Estables y Permeabilidad; lo cual coincide con nuestros resultados y los obtenidos por Vázquez, (2003) al aplicar compost y cachaza junto con el mineral dolomita.

Tandrón, (2005) al aplicar al suelo residuos del beneficio húmedo de café, comprobó que los materiales orgánicos constituyen elementos primordiales para elevar la fertilidad y propiedades físicas de un suelo Ferralítico Rojo.

Cuevas *et al.*, (2006) demostró que en aquellos suelos en que es aplicado el compost de lodo, la densidad aparente sufre disminuciones con dosis mayores a  $30 \text{ t ha}^{-1}$ , y explica que la menor densidad aparente es el resultado de la mayor macroporosidad, ya que se generan

espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico adicionado. Mayores cantidades de compost adicionados generan menores valores de densidad aparente y aumentos en los valores de porosidad total, lo que se traduce en mejoras estructurales.

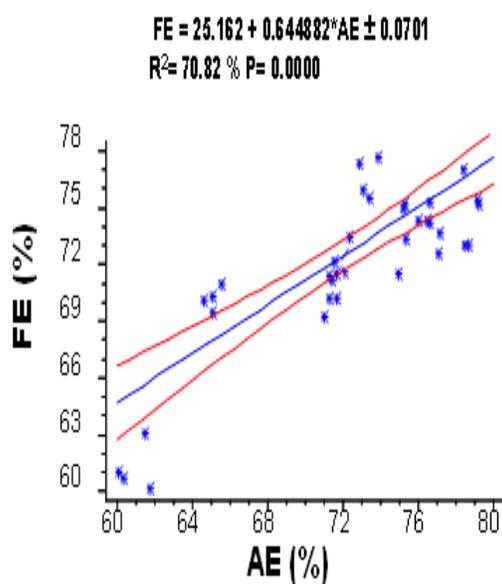


Figura 8. Relación entre Agregados Estables y Factor de Estructura.

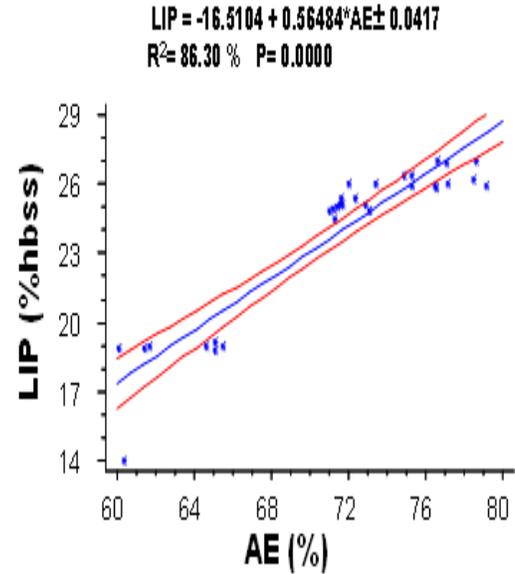


Figura 9. Relación entre Agregados Estables y Límite Inferior de Plasticidad.

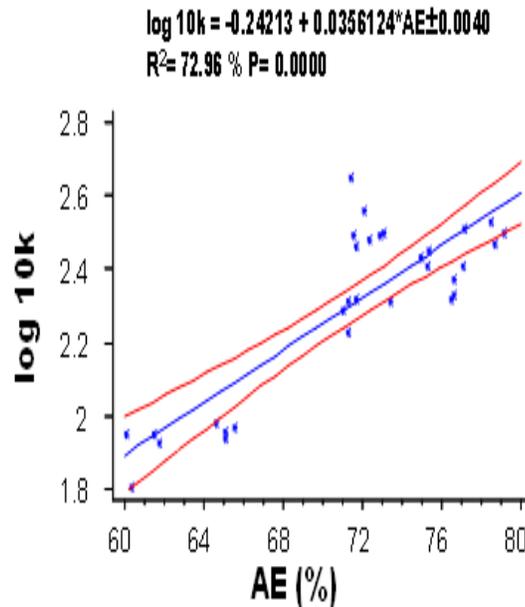


Figura. 10 Relación entre los Agregados Estables y Permeabilidad (log 10k)

### 4.3.2 Análisis de componentes principales.

La evaluación de los componentes principales derivados de la acción de las combinaciones de compost con minerales, agrupa 2 componentes que representan el 75.03 % (Tabla 8 y 9).

El primer componente está encabezado por los indicadores físicos con 59.14 % de la varianza total, lo cual constituye un elemento que corrobora que tanto el FE, LIP, AE y log 10k pueden ser considerados indicadores de calidad del suelo Ferralítico Rojo Compactado, dada su sensibilidad bajo la aplicación de las diferentes enmiendas y teniendo en cuenta además, que Singer y Ewing, (2000) plantean que las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente.

**Tabla 8. Componentes principales para el experimento de compost y minerales naturales.**

Componentes	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5.323	59.144	59.144
2	1.430	15.891	75.035

**Tabla 9. Matriz de componentes en experimento de compost y minerales naturales.**

	Componentes	
	1	2
LIP	.949	
AE	.906	
log 10k	.880	
FE	.846	
pH (KCl)	.729	
% MO	.682	
K <sub>2</sub> O	.667	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.653	
pH (H <sub>2</sub> O)		.704

#### **4.4 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con abonos organo minerales.**

##### **4.4.1 Relaciones entre las propiedades físicas.**

Al aplicar al suelo las combinaciones de abonos organo minerales las relaciones más efectivas entre las propiedades físicas fueron las del Límite Inferior de Plasticidad con los Agregados Estables, Factor de Estructura y la Permeabilidad (Figuras 11-13).

Las ecuaciones y valores de  $R^2$  en todos los casos por encima del 75 % expresan el papel proporcional del Límite Inferior de Plasticidad con el resto de los indicadores evaluados, los cuales alcanzan valores por encima de 2.3 (log 10k), muy cercanos al 85% para el caso de los agregados estables y por encima del 80% para el factor de estructura y todos coincidentes con el mayor valor de LIP.

Es evidente que la estructura del suelo mejora directamente proporcional a la plasticidad. Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Tadrón, (2005) al realizar un experimento en condiciones muy similares a las nuestras.

Según Cairo, (2003) los parámetros de la plasticidad tiene una estrecha relación con las propiedades hidrofísicas del suelo debido a la retención de agua en el rango de baja humedad y alta tensión que se ejerce. Además es prudente plantear que la adición de materiales orgánicos, contribuye a la formación de sustancias cementantes producidas por microorganismos del sistema, ayudando a la formación de agregados. En este caso la combinación de materiales organo minerales se tradujo en la mejora de las condiciones estructurales.

Autores como Rodríguez, (2003) reportan el efecto positivo que ejercen tanto los minerales naturales como los abonos orgánicos sobre este tipo de suelo y específicamente sobre el estado estructural. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Blanco, (2005) al estudiar el efecto de la aplicación de abonos orgánicos y minerales, en la producción de papa, el cual demostró que en aquellos tratamientos en que se aplicaron las combinaciones con minerales se elevaron los rendimientos hasta  $2.6 \text{ tha}^{-1}$  con el consecuente mejoramiento de las condiciones estructurales del suelo.

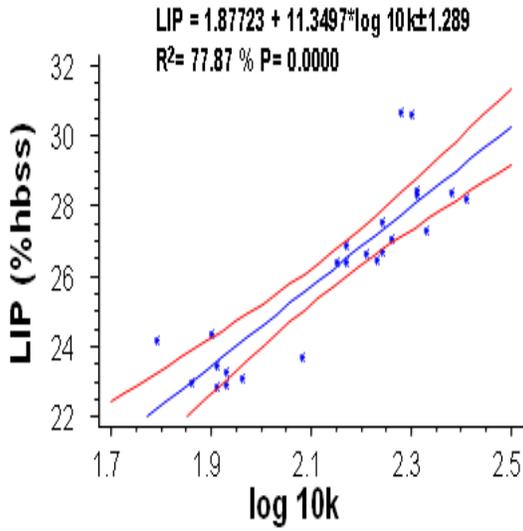


Figura 13. Relación entre Límite Inferior de Plasticidad y Permeabilidad.

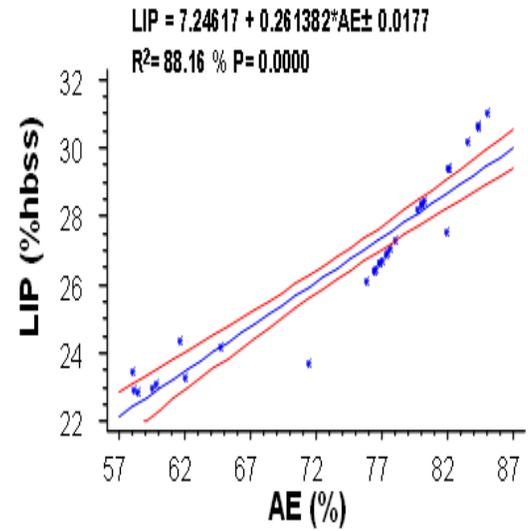


Figura 14. Relación entre Límite Inferior de Plasticidad y Agregados Estables.

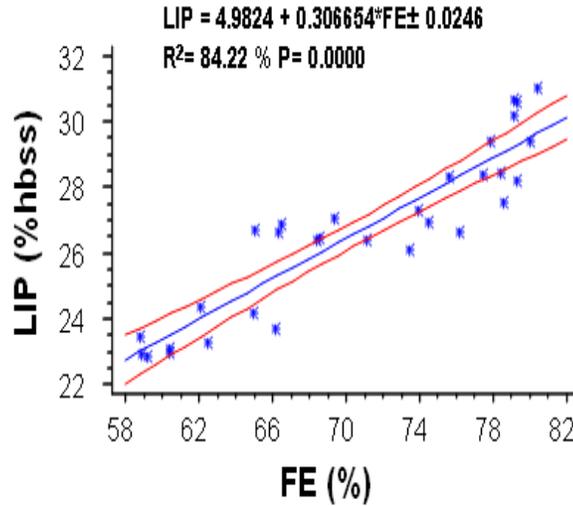


Figura 15. Relación entre el Factor de Estructura y el Límite Inferior de Plasticidad.

#### 4.4.2 Análisis de componentes principales

Al evaluar los componentes principales se manifiestan tres componentes que explican el 78.24 % de la varianza total (Tabla 10 y 11), en el primer componente agrupa tres de los indicadores físicos, que por los estudios son los más sensibles a los cambios originados por los diferentes sistemas de manejo ellos son: la permeabilidad, factor de estructura y agregados estables y representan un 31.99 % de varianza total. Teniendo en cuenta lo planteado por Bolinder *et al.*, (1999) quienes señalan que la respuesta que se obtiene de distintos indicadores de la calidad del suelo a diferentes prácticas de manejo, resulta clave para identificar aquellos más sensibles y que además esta mayor sensibilidad anticipa el sentido de los cambios en suelos influenciados por diferentes sistemas de labranza [Cambardella y Elliott, (1994); Beare *et al.*, (1994)] podemos considerar a estos indicadores junto al Límite Inferior de Plasticidad (LIP) como aquellos que nos permitirán dar indicios de calidad para este tipo de suelo.

**Tabla 10. Componentes principales experimento de abonos organo minerales.**

Componentes	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2.879	31.988	31.988
2	2.270	25.219	57.207
3	1.891	21.008	78.214

**Tabla 11. Matriz de Componentes principales experimento de abonos organo minerales.**

	Componentes		
	1	2	3
log 10k	.953		
FE	.929		
AE	.715		
IP			
LIP		.959	
K <sub>2</sub> O		-.773	
pH (H <sub>2</sub> O)		.618	
pH (KCl)			.904
LSP			.817

#### **4.5 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con diferentes niveles de gallinaza.**

##### **4.5.1 Relaciones entre las propiedades físicas y con la altura de la planta, análisis de componentes principales.**

Las ecuaciones obtenidas para las curvas de ajuste ilustran la dependencia que existe entre los agregados estables y el factor de estructura con la altura; existiendo por lo tanto una relación positiva bajo estas condiciones, al igual que sobre las propiedades físicas. En este caso el Factor de Estructura tiene una alta dependencia del resto de los indicadores físicos con  $R^2$  elevados (Tabla 16), se pone de manifiesto que aplicando gallinaza podemos potenciar el estado estructural del suelo y por lo tanto los indicadores de crecimiento del cultivo. Salas y Ramírez, (2001) consideran a la gallinaza un abono completo en cuanto a su aporte en N y  $P_2O_5$  y su alta concentración de nutrimentos biológicamente disponibles, capaz de lograr un efecto positivo sobre los indicadores de crecimiento.

En el análisis de componentes principales para este experimento se agrupan dos componentes que explican un 77.58 % de varianza total, en el primer componente sobresalen los indicadores físicos, con un 58.59 % de la varianza (Tabla 17 y 18). León, (2003) demostró que la aplicación de materia orgánica en este caso la gallinaza, influyó positivamente en el estado estructural del suelo incrementando significativamente el índice de permeabilidad así como los agregados estables al agua con respecto al estado inicial, resultados muy similares a los obtenidos en esta investigación.

Stemberg, (1998) al evaluar aspectos físicos, químicos y biológicos de los suelos destacó la importancia de las técnicas de análisis multivariado (componentes principales), las cuales facilitaron la clasificación de los suelos en tres categorías: buena, normal y baja calidad. Wander y Bollero, (1999) también utilizaron análisis multivariado para evaluar cambios en la calidad de los suelos por efecto de la siembra directa.

Tabla 12. Relaciones entre las propiedades físicas y con la altura de planta.

Ecuación	R <sup>2</sup> (%)	Significación
FE = 35.9474 + 2.5786*log 10k±1.98	66.96	0.0000
FE = 5.60003 + 0.810543*AE±0.08	83.65	0.0000
FE = 26.1348 + 1.57398*LIP±0.15	85.21	0.0000
LIP = -47.1033 + 1.42974*AE-0.00611408*AE <sup>2</sup> ±0.38 ±0.003	98.90	0.0000
Altura = 1/(0.00866165+0.855302/AE) ±0.001	48.00	0.0008
Altura (cm)= 1/(0.00963554+ 0.694266/FE) ±0.001	56.00	0.0009

Tabla 13. Componentes principales experimento dosis de gallinaza.

Componente	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5.273	58.591	58.591
2	1.709	18.985	77.576

Tabla 14. Matriz de Componentes principales experimento dosis de gallinaza.

	Componentes	
	1	2
LIP	.957	
AE	.950	
FE	.889	
log 10k	.867	
IP	-.864	
pH(KCl)	.750	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.687	
LSP		.843
K <sub>2</sub> O		.795

#### 4.6 Análisis de componentes principales bajo las condiciones de un experimento con niveles de Caliza Fosfatada.

Para el caso del experimento en que se aplica la Caliza Fosfatada combinada con materiales orgánicos y fertilizantes, se agrupan 3 componentes que explican el 82 % de la varianza total del experimento (Tabla 19 y 20). En el primer componente sobresalen FE, LIP, AE y log 10k en el que se agrupa el 52.87 % de la varianza demostrando ello, que estos indicadores se ven notablemente influenciados por el efecto de los tratamientos. Se pone de manifiesto una vez más lo planteado por Bolinder *et al.*, (1999), quienes señalaron que la respuesta que se obtiene de distintos indicadores de la calidad del suelo a diferentes prácticas de manejo resulta clave para identificar aquellos más sensibles. Todos estos criterios demuestran que estas propiedades pueden ser seleccionadas como indicadores de calidad para estos suelos y lo planteado por Bautista, (2001), quien propuso como indicadores de calidad del suelo, en bosques mesófilos de la Sierra Norte de Oaxaca, a las propiedades que resultaron tener un mayor peso dentro de un análisis de componentes.

Tabla 15. Componentes principales experimento con niveles de Caliza fosfatada.

Componente	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4.758	52.869	52.869
2	1.516	16.845	69.713
3	1.179	13.102	82.815

Tabla 16. Matriz de componentes experimento con niveles de Caliza fosfatada.

	Componentes		
	1	2	3
log 10k	.945		
LIP	.938		
FE	.905		
AE	.891		
pH(H <sub>2</sub> O)	-.788		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.715		
pH (KCl)		.774	
K <sub>2</sub> O		.635	
% MO			-.740

#### **4.7 Análisis de las matrices de correlaciones en los diferentes experimentos.**

El análisis de la matriz de correlación de los diferentes experimentos estudiados (anexo 2-5) indica el grado de significación entre las variables. Las propiedades químicas resultaron ser las de menor grado de correlaciones significativas con el resto.

La materia orgánica no manifiesta relaciones significativas en tres de los experimentos estudiados, aunque para el caso de los experimentos de dosis de fosforita y combinaciones de compost con minerales; alcanza un 63 y 44 % de correlaciones significativas, este indicador independientemente de la evaluación estadística no deja de ser una propiedad importante en la evaluación de la fertilidad de los suelos en estudio (Vea Tabla 1-5), Gregorich *et al.*, (1994) consideran que los contenidos de materia orgánica total y sus fracciones son importantes atributos de la calidad del suelo. Existe un grupo de indicadores químicos que desde el punto de vista estadístico manifiestan tener un alto número de relaciones significativas con el resto, tal es el caso del  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  y el pH en algunos de los experimentos.

Con los indicadores físicos ocurre todo lo contrario, en todos los experimentos muestran tener un alto grado de correlaciones significativas con el resto de los indicadores, destacándose el (log 10k, FE, LIP y AE). Se corrobora lo planteado por Quiroga *et al.*, (2005) quienes afirman, que cambios en los contenidos de materia orgánica atribuibles al manejo, afectarían los niveles y rango de variación de algunas propiedades físicas de los suelos.

## 4.8 Análisis de los indicadores de calidad de suelo.

### 4.8.1 Comparación entre el diagrama de calidad propuesto y las diferentes enmiendas.

Los sistemas de manejo pueden llevar al suelo a diferentes estados de fertilidad. Cuando este manejo se caracteriza por el uso de cobertura vegetal, utilización diversa de la materia orgánica y el aprovechamiento de los recursos locales, se adquiere un estado de equilibrio natural que se refleja en las propiedades físicas, químicas y biológicas. De ello resulta que algunas propiedades del suelo pueden ser evaluadas bajo las condiciones de estudio como indicadores de calidad. Esto no solo significa ahorrar insumos externos sino mantener la fertilidad natural del suelo, alcanzar producciones estables y proteger el recurso suelo para generaciones futuras Altieri, (1994). Además Bolinder *et al.*, (1999) señalaron que la respuesta que se obtiene de distintos indicadores de la calidad del suelo a diferentes prácticas de manejo resulta clave para identificar aquellos más sensibles.

Para la determinación de estos indicadores de calidad fueron tenidas en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Sensibilidad a los cambios originados en el suelo.
2. Alto grado de relación con el resto de indicadores evaluados en la matriz.
3. Las relaciones entre las propiedades y con los componentes de las plantas indicadoras.
4. Posición de las propiedades por componentes y su coeficiente de correlación de las variables con el componente.

A partir de este análisis se seleccionaron 4 indicadores de calidad para el suelo objeto de estudio, ellos fueron: permeabilidad (log 10k), agregados estables (%), factor de estructura (%) y el límite inferior de plasticidad (%hbss), los cuales constituyen elementos importantes para diagnosticar este tipo de suelo. Esta decisión, surge como resultado de los análisis realizados para los diferentes experimentos y el efecto de las diferentes enmiendas sobre las propiedades y los indicadores del crecimiento de las plantas; así como los valores de  $R^2$  alcanzados en las relaciones entre las propiedades, conjuntamente con los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales (Anexo 5).

Los valores claves escogidos para la confección del diagrama de calidad (Figura 15), incluyen la selección de las mejores alternativas para minimizar los problemas degradativos del suelo estudiado y para lograr la calidad del recurso suelo y deben estar en un rango de: (FE 75%, log 10k 2.4, AE 74% y LIP 27% hbss). Tomando como ejemplo el FE sería importante señalar que cuando este indicador alcanza su máximo valor (80 %), corresponde siempre con valores elevados del resto de los indicadores que se relacionan con el mismo; al igual que para el caso de los indicadores de crecimiento de las plantas, se corresponden los valores mayores de la altura cuando este indicador alcanza valores entre el 70 y 80 %. Este indicador en todos los casos en que se aplican las alternativas logra alcanzar la categoría de bueno (65-80 %) y excelente (80-100), con respecto a regular en el testigo (Anexo 1).

El resultado de la comparación entre el diagrama y los experimentos conducidos (Figura 16-20) muestra que con la aplicación de las diferentes enmiendas se logra para todos los casos acercarse al suelo a la calidad, se pone de manifiesto que con la aplicación de las enmiendas se originan cambios sensibles en el suelo y además que los indicadores propuestos permiten estimar el estado actual y las tendencias en la calidad del suelo como paso fundamental para definir sistemas de producción sostenibles. En general en todas las comparaciones se logra un gran acercamiento al diagrama propuesto destacándose la de ( $4 \text{ tha}^{-1}$ ) Compost + Zeolita.

#### **4.8.2 Validación del diagrama de calidad propuesto.**

Los valores de los indicadores para cada uno de los sistemas de validación y el tiempo de establecido de los mismos (Tabla 17) más las comparaciones entre el diagrama propuesto y las áreas escogidas para la validación (Figuras 20-23) muestra que para el sistema bosque en condición del suelo natural sin acción antropogénica (Hernández, 2006a) se logra que sobrepase el rango en sentido positivo, poniéndose de manifiesto la importancia de la cobertura vegetal y el aporte continuo de materia orgánica, lo cual contribuye a la formación de un suelo ideal; todo lo contrario ocurre al comparar el sistema en el que se establece la Agricultura Convencional, para este caso el diagrama se desplaza pero en sentido negativo al propuesto, al igual que para el sistema caña, ambos demuestran que es necesario establecer en ellos un nuevo manejo que logre

alcanzar la sostenibilidad y que eso se traduzca en lograr la calidad del suelo estudiado. La tabla 17 muestra los valores de los indicadores de calidad para cada uno de los sistemas de validación y el tiempo de establecido de los mismos.

**Tabla 17. Valores de los indicadores propuestos en los diferentes sistemas de validación.**

<b>Sistema de Manejo</b>	<b>Tiempo de Establecidos (Año)</b>	<b>log 10k</b>	<b>FE (%)</b>	<b>AE (%)</b>	<b>LIP (%)</b>
Bosque	65	2.50	80	78	33
Caña	50	1.90	56	55	30
Agricultura Convencional	43	2.23	62	70	23

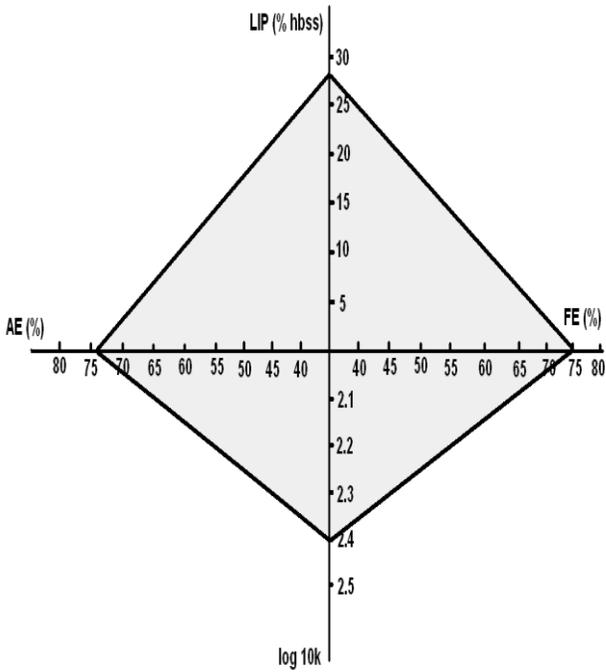


Figura 15. Diagrama de Indicadores de Calidad Propuesto para el Suelo Ferralítico Rojo

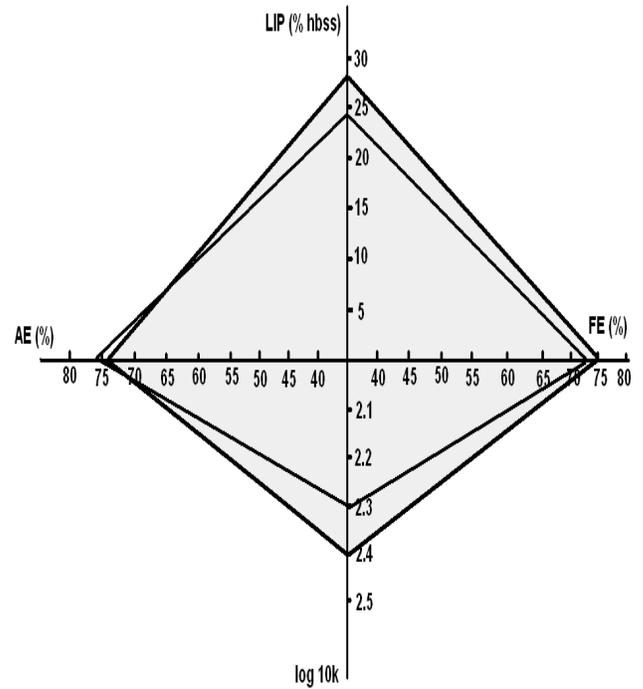


Figura 16. Comparación con (6 tha<sup>-1</sup>) Fosforita

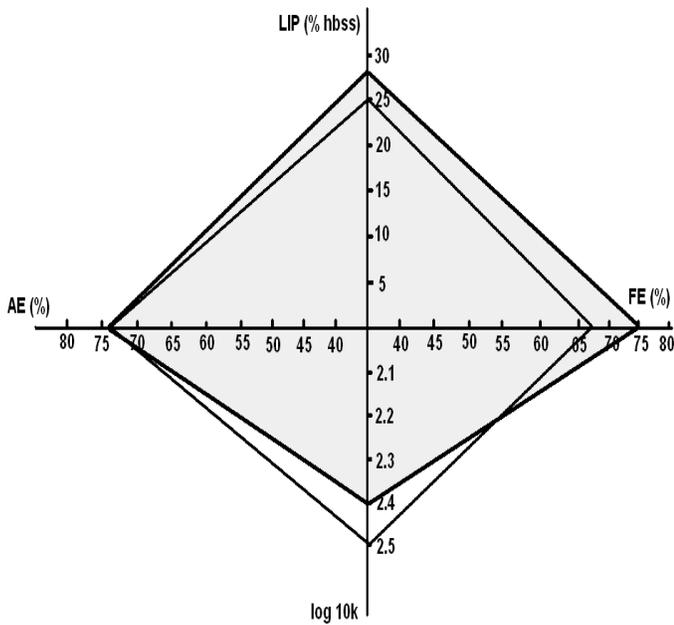


Figura 17. Comparación con (4 tha<sup>-1</sup>) Gallinaza)

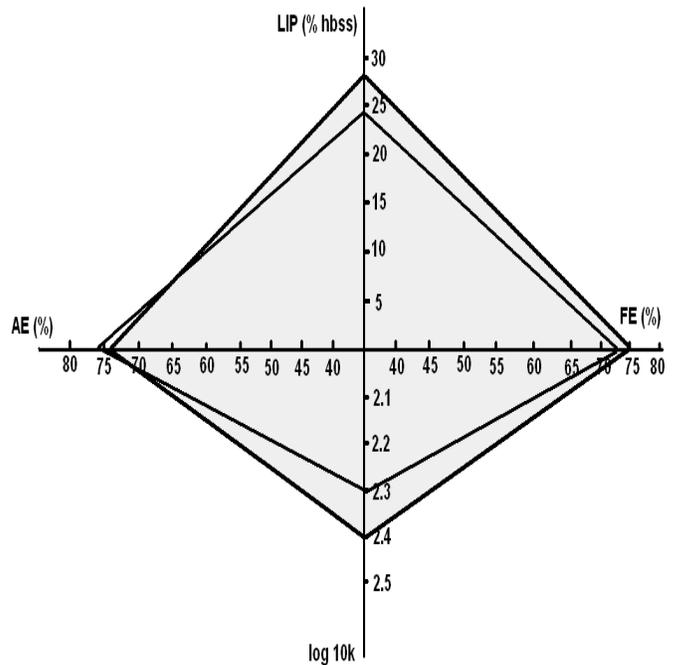


Figura 18. Comparación con (4 tha<sup>-1</sup> Zeolita + 4 tha<sup>-1</sup> Compost).

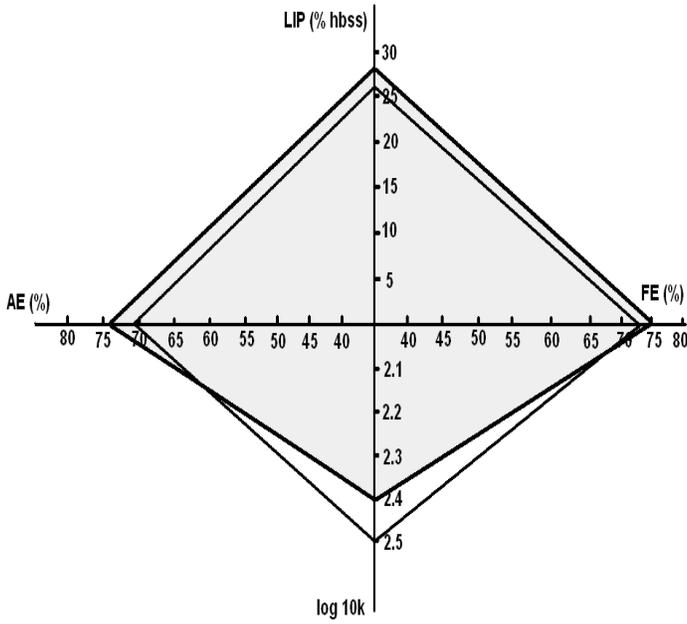


Figura 19. Comparación con Caliza Fosfatada  $4 \text{ tha}^{-1}$  + Cachaza  $50 \text{ tha}^{-1}$

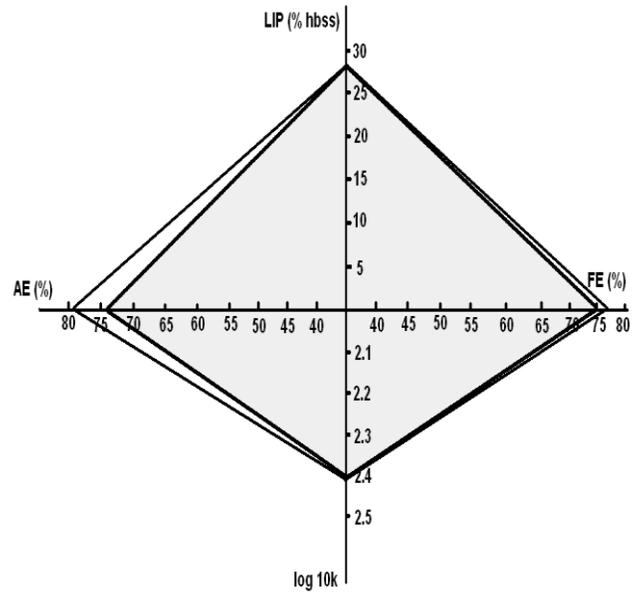


Figura 20. Comparación con  $(4 \text{ tha}^{-1})$  Compost + Zeolita.

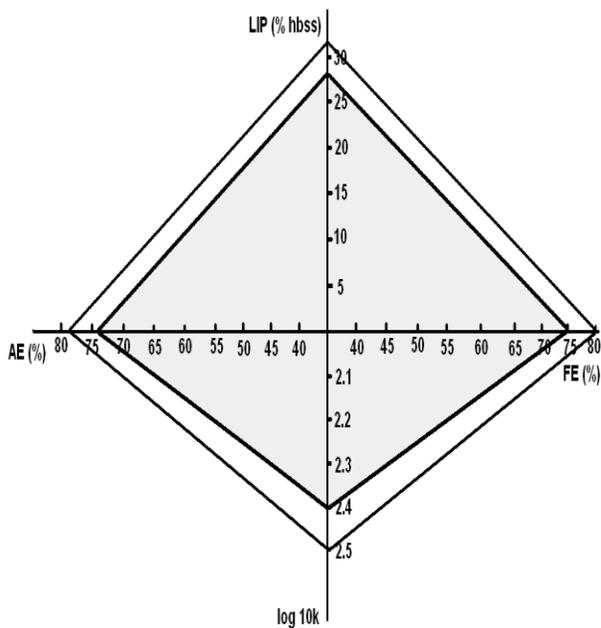


Figura 21. Sistema Bosque.

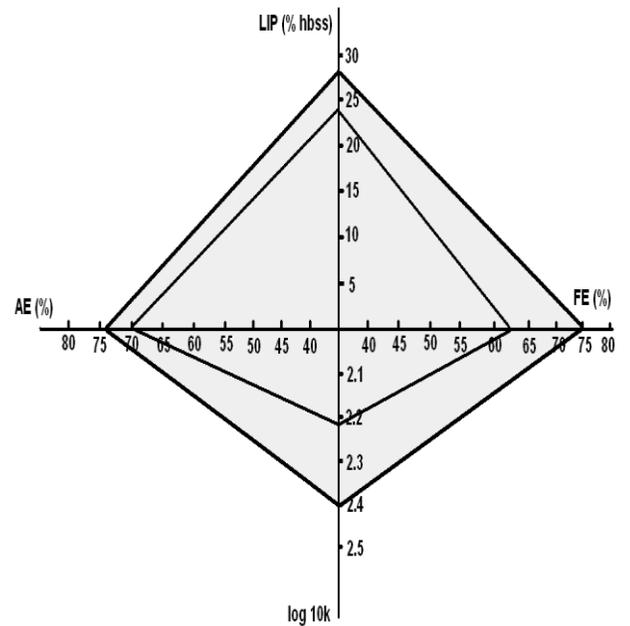


Figura 22. Sistema Agricultura Convencional.

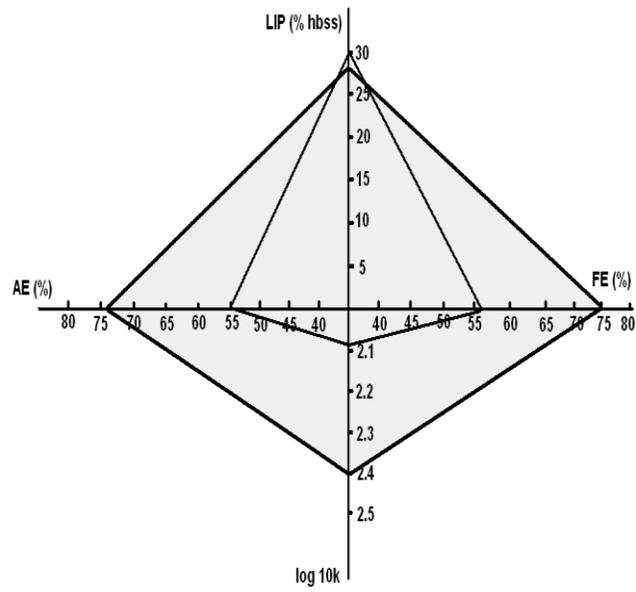


Figura 23. Sistema Caña

# *Conclusiones*



## 5. CONCLUSIONES

1. El uso de abonos orgánicos, minerales naturales y sus combinaciones ocasionan incrementos en la materia orgánica que se traducen en mejoras en el estado estructural del suelo.
2. Los estudios realizados en los suelos Ferralíticos Rojos Compactados demuestran que los indicadores más adecuados para diagnosticar su calidad son: Permeabilidad ( $\log 10k$ ), Agregados Estables (AE), Factor de Estructura (FE) y el Límite Inferior de Plasticidad (LIP).
3. El diagrama de calidad está representado por los valores estimados Factor de Estructura (FE 75%), Permeabilidad ( $\log 10k$  2.4), Agregados Estables (AE 74%) y Límite Inferior de Plasticidad (LIP 27% hbss).
4. Cuando se compara el diagrama de calidad de suelo con diferentes alternativas de mejoramiento, se pone de manifiesto que con la aplicación de las mismas la tendencia general es positiva, destacándose el tratamiento de ( $4 \text{ tha}^{-1}$ ) Compost + Zeolita.
5. La validación del diagrama demuestra que es posible la aplicación de dichos resultados para diagnosticar el estado de la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos Compactados de la región en estudio.

# *Recomendaciones*



## **6. RECOMENDACIONES**

1. Evaluar el impacto económico y ambiental en condiciones de campo de estos resultados.
2. Con vistas a lograr la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos aplicar: (4  $\text{tha}^{-1}$ ) Compost + Zeolita, 4  $\text{tha}^{-1}$  Compost + Zeolita 4  $\text{tha}^{-1}$ , Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 50  $\text{tha}^{-1}$ , 6  $\text{tha}^{-1}$  de Fosforita, 4  $\text{tha}^{-1}$  de Gallinaza.
3. Dada la importancia de los suelos Ferralíticos Rojos en el país, continuar las investigaciones en la obtención de indicadores de calidad; utilizando parte de estos resultados.

# *Bibliografía*



## **7. BIBLIOGRAFIA**

1. **Adriaanse, A.** 1993. Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
2. **Aguiar, J.** 1997. Aplicación de fuentes de minerales y compost en dos suelos de importancia agrícola de la provincia de Villa Clara. Tesis de Diploma. FCA. UCLV.
3. **Alonso, Carmen.** 1997. Influencia de tres sistemas de cultivo en algunas propiedades físicas de suelos Ferralíticos Rojos. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía. UNAH 85p.
4. **Altieri, M.A.** 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. Agricultura Técnica (Chile).54 (4): p. 371 – 386.
5. **Arshad, M y Cohen, G.** 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31p.
6. **Ascanio, N.** 2004. Reseña del uso y manejo agroecológico de los suelos, situación actual. Disponible en: [www.gacicuba.net](http://www.gacicuba.net). [Consulta: 3 de noviembre 2005]
7. **Astier, C; Mass, M; Etchevers, B.** 2002. Derivación de Indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia. 605-620.
8. **Astier C., M.** 2002. El efecto de las leguminosas en el mejoramiento de la calidad del suelo de ando en sistemas agrícolas de ladera en la cuenca del lago de Zirahuén. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM.
9. **Bandinck, A y Dick.R.** 1999. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biology and Biochemistry 31(11): 1471-1479.
10. **Bautista C., M. A.** 2001. Indicadores de calidad del suelo en tres cronosecuencias de bosque mesófilo, Sierra Norte, Oaxaca. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

11. **Bautista, A.; Etchevers, R.; del Castillo, R.; Gutiérrez, C.** 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas. Disponible: [www.aeet.org/ecosistemas](http://www.aeet.org/ecosistemas). [Consulta: 5 de diciembre 2006]
12. **Beare M., P. Hendrix, D. Coleman.** 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no tillage soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:777-786.
13. **Beare M., Cameron, K., Williams, P., Doscher, C..** 1997. Proceedings of the fiftieth New Zealand Plant Protection Conference, 520-528p.
14. **Blanco, H. 2005.** Efectos de la aplicación de diferentes abonos orgánicos y minerales en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en tumuyu b municipio de pocona. Disponible en: [www.agr.umss.edu.bo](http://www.agr.umss.edu.bo). [Consulta: 5 de diciembre 2006]
15. **Bolinder M., D. Angers, E. Gregorich, M. Carter.** 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. Canadian Journal of Soil Science 79:37-45p.
16. **Borreterán, J y Zinck, J.** 2000. Indicadores de la calidad agrícola nacional celearela. Caso Estudio. Venezuela. Revista Facultad de Agronomía. 17. 139 - 155p.
17. **Budd, W.W.** 1992. What capacity the land? J. Soil Water Conservation 47: 28-31.
18. **Buol, S. W.** 1995. Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic 26:25-44.
19. **Cabrera. M.** 1998. Estudio de diferentes fuentes minerales y compost en un suelo Pardo con carbonato. Informe 119. Empresa Geominera del Centro. 36-41p.
20. **Cabrera, R. y Bouzo, Lidia.** 1999. Fundamentos técnicos económicos para el uso de fertilizantes y enmiendas en la caña de azúcar. SERFE. INCA. 16-22p.
21. **Cairo, P y Fundora, O.** 1994. Edafología. Ed. Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 475p.

22. **Cairo, P; Machado, J y Fundora, O.** 1998. Veinte años de experiencia en el mejoramiento de suelos de la región central. 100p.
23. **Cairo P.** 2000a. Alternativas para el mejoramiento de los suelos para el cultivo de la caña. Revista Agricultura Orgánica. 23-25p.
24. **Cairo, P.** 2000b. Compartimiento de la roca fosfórica como mejoradora de suelos. Comunicación personal.
25. **Cairo, P.** 2003. La fertilidad del suelo y la agricultura orgánica en el trópico. 138p. CD: CDICT. UCLV.
26. **Cairo, P.** 2007. Comunicación Personal.
27. **Camacho, E.** 1984. Propiedades físicas, Hidrofísicas y físico química de los suelos Ferralíticos Rojos compactados de Cuba. Ciencias Agrícolas. 89-99p.
28. **Cambardella C., E. Elliott.** 1994. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1071-1076.
29. **Campbell C. y W. Souster.** 1999. Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. Can. J. Soil Sci. 62:651-656.
30. **Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J.** 1997. Concepts of soil quality and their significance. En Soil quality for crop production and ecosystem health (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
31. **Crespo, G y Fraga, S.** 2005. Efecto de la aplicación superficial de fertilizante mineral y abono orgánico en la recuperación de un campo forrajero de *Pennisetum purpureum* cv. king grass. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Tomo 39, Número 3.
32. **Cuevas, J; Seguel,O; Ellies, A; Dörner, J.** 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. R.C. Suelo Nutr. Veg., 2006, vol.6, no.2, p.1-12. ISSN 0718-2791. Disponible en: [www.scielo.cl](http://www.scielo.cl). [Consulta: 14 de febrero 2006]

33. **Dalurzo, H. C.; Serial, R. C.; Vázquez, S. y Ratto, S.** 2002. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina).
34. **Doran, J.W. y Parkin, B.T.** 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
35. **Doran, J.W., Sarrantonio, M. y Liebig, M.A.** 1996. Soil Health and Sustainability. Advances in Agronomy Vol. 56. Academic Press, Inc. San Diego, California.
36. **Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C.** 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
37. **Frómata, E y Tarawally, M.A.** 1988. Comportamiento de algunas propiedades físicas de un suelo compactado. XI Seminario Científico Int. Taller Abiótico. 17-20 de nov.
38. **Funes, F.** 2006. ¿Sustitución de insumos o agricultura ecológica? Revista LEISA. 2006 – Vol. 22 – N° 2. Disponible en: [www.latinoamerica.leisa.info](http://www.latinoamerica.leisa.info). [Consulta: 5 de mayo 2006]
39. **Gambaudo S.; Micheloud H.** 2003. Momento de aplicación de una dolomita para corregir la acidez edáfica. Anuario 2002. Agronomía. Manejo de suelos y cultivos. INTA. Argentina. Disponible en: [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar). [Consulta: 17 de marzo 2005]
40. **Gomero, L y Vasqu ez, H.** 2004. Bases conceptuales y programáticas para el manejo ecológico del suelo. Perú. Disponible en: [www.cledperu.org](http://www.cledperu.org). [Consulta: 17 de marzo 2005]
41. **González, V.** 2002. La práctica de la agricultura y ganadería ecológicas. Evaluación de la sostenibilidad agraria. Ed.C.A.A.E. .373-375 p.
42. **Goodland, R. y H. Daly.** 1996. Environmental sustainability: universal and non-negotiable. Ecological Applications 6:1002-1017.
43. **Gounou, E.** 1997. Enfoque morfoedafológico en el estudio de la variabilidad de los suelos Ferralíticos y subtipos asociados a un geosistema cársico de la

Habana. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícola.  
UNAH. 103p

44. **Gregorich E., M. Carter, D. Angers, C. Monreal, B. Ellert.** 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 4:367-385.
45. **Hassink J., L. Bouwman, K. Zwart, J. Bloem, L. Brussard.** 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57: 105-128.
46. **Hernández, A; Pérez, J; Bosch, D; Rivero, R; Camacho, E; Ruiz, J.** 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. AGRINFOR. p 37-38.
47. **Hernández, A.; Vantour, A.; Morales, Marisol.; Fuentes, Enma.** 2004. Suelos dedicados al cafeto Cuba. INCA. Habana. Cuba.
48. **Hernández, A; Morales, Marisol; Ascanio, M y Morell; F.** 2006. Manual para la aplicación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. En: VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo (16: 2006mar.8-10: La Habana). Memorias. CD-Rom. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, 2006. ISBN 959-7023-35-0.
49. **Hernández, A.** 2006a. Curso: Fundamento sobre la formación del suelo cambios globales y su manejo. CD: INCA. Habana. Cuba.
50. **Hünнемeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S.** 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
51. **Jaimez, E; Guerra, M; Alcalde, J; Pérez, B; García, A; Campos, M.** 2004. Diagnóstico ambiental de los suelos de la cuenca de Ariguanabo. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio.* N° 4, 2003.
52. **Karlen, D, Mausbach, M, Doran, J, Cline, R, Harris, R y Schuman, G.** 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.

53. **Labrador, J.** 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Editorial Mundi Prensa. Madrid. España.
54. **Lal R., J. Kimble.** 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Vol.49:243-253.
55. **León, G.J.** 2003. Manejo ecológico de un suelo Pardo Grisáceo (Inseptisol) degradado. Tesis presentada en opción al título de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
56. **Lora, R.; Pulido, I.; Méndez, A.; Peña, F.** 2006. Efecto de la fertilización orgánica y mineral en rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) En un suelo Typic hapludalfs de mediana fertilidad. Disponible en: [www.udca.edu.co](http://www.udca.edu.co). [Consulta: 17 de marzo 2005]
57. **Lorenzo, R.** 1992. Efecto de la producción de la levadura torula sobre el estado físico de los suelos Ferralíticos Amarillentos dedicados a la caña de azúcar. Tesis de Doctorado. Instituto Superior de Ciego de Avila. UCLV.
58. **Lugones, P y Torres, S.** 1996. Estudios sobre el efecto de la aplicación de distintas dosis de caliza fosfatada sobre la fertilidad del suelo y la planta. Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
59. **Magdoff, F.** 1997. Calidad y Manejo de suelo. Bases Científicas para una Agricultura Sostenible. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo. Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica. La Habana. Cuba, 211p.
60. **Masera O., M. Astier, S. López, Ridaura.** 1999. Sostenibilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. México.
61. **Mejía, L.A. Palencia, G.E.** 2005. Abono Orgánico. Manejo y uso en el cultivo de Cacao. Disponible en: [www.turipana.org.co](http://www.turipana.org.co). [Consulta: 17 de marzo 2005]
62. **Mohr, Tamara.** 2006. La Enciclopedia de la Sostenibilidad. Revista LEISA. junio 2006 – Vol. 22 – N° 1. Disponible en: [www.latinoamerica.leisa.info](http://www.latinoamerica.leisa.info). [Consulta: 17 de enero 2006]

63. **Morales, Mayelin y Díaz, B.** 2003. La materia orgánica y el estado de fertilidad de los suelos pardos con carbonatos bajo diferentes sistemas de manejo. Tesis de Maestría. FCA. UCLV.
64. **Montesino, C.** 1998. La fertilización en la Agricultura orgánica. Revista chile agrícola 235: 247 – 251pp.
65. **Muñiz, O.** 2001. Los Sistemas Integrados de Nutrición Vegetal. Memorias del II Taller de Suelos. Proyecto Biopreparados. San Antonio de los Baños 5 – 6 de Diciembre del 2001.
66. **NSSC, SQI, NRCS, USDA y NSTL.** 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C.: Soil Quality Institute.
67. **OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development.** 1991. Environmental indicators for agriculture. Methods and Results. Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
68. **OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development.** 1993. Environment Monographs No. 83. OECD Core set of indicators for Environmental Performance Reviews. OECD. Paris, Francia.
69. **OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development.** 2003. Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting. (ed. Scott Smith, C.A). Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
70. **Parr J., R. Papendick.** 1997. Soil quality: Relationships and strategies for sustainable dryland farming systems. Annals of Arid Zone 36:181-191.
71. **Pedraza, F.** 2005. Estudio sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos Oscuros Plásticos. Tesis de Maestría. FCA. UCLV.
72. **Peñaloza, D.; Mescallado, M.; y Hopilito, Marilene.** 2000. Reconstruyendo la fertilidad del suelo. Revista LEISA. (15) 1-2. 25-26p. [www.latinamerica.leisa.info](http://www.latinamerica.leisa.info). [Consulta: 17 de enero 2006].

73. **Philipps, L.** 2002. Nitrogen Losses. Journal Ecology and Farming. IFOAM. Germany. No.29:10.
74. **Pineda, Emma.** 2002. Factores asociados con la respuesta de la caña de azúcar a los fertilizantes minerales. Tesis de Doctorado. INICA.
75. **Pla, I.** 2003. Física de Suelos e Hidrología en América Latina
76. **Quiroga A.** 1994. Influencia del manejo sobre propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenidos de materia orgánica. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca.
77. **Quiroga, A; Ormeño, O y Peinemann, N.** 2005. Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos
78. **Reeves D.** 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil Till. Res. 43:131-167.
79. **Reyes, A. 2006.** Indicadores de calidad de suelo en áreas cafetaleras de Topes de Collantes. Tesis de Doctorado. FCA. UCLV.
80. **Rivero, Carmen; Lobo, Deyanira y López, A.** 2004. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un Alfisol degradado. Revista VENESUELOS. 6(1 y 2):29-33.
81. **Rivero, Carmen y Paolini, J.** 2004. Efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos. Venesuelos 2(1):19-25p.
82. **Robertson, F y Thorburn, P.** 2001. Crop residue effect on soil C and N cycling under sugarcane. In: Rees, R.M., Ball, B.C. and Campbell, C.D., Watson, C.A. (Eds) Sustainable Management of Soil Organic Matter. CAB International, Wallingford, UK.
83. **Rodríguez, D y Pérez, Liskeidy.** 1999. Efecto integral de minerales y compost en un suelo oscuro plástico. Trabajo de Curso. FCA. UCLV.

84. **Rodríguez, Marta.** 2003. alternativas para el mejoramiento de los suelos Ferralíticos rojos con el uso de minerales naturales y abonos orgánicos. Tesis de Maestría. FCA. UCLV.
85. **Romig, D, Garlynd, M, Harris, R y McSweeney, K.** 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
86. **Salas, E. Ramírez, C.** 2001. Bioensayo Microbiano para estimar los nutrimentos Disponibles en los Abonos Orgánicos: Calibración en el Campo. *Revista Costarricense. Universidad de Costa Rica. Vol. 25.Nº 2.* 11-23 p.
87. **Sherman, T.** 1997. Efecto integral de la caliza fosfatada en dos suelos. Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
88. **Schimel D., M. Stillwell, R. Woodmansee.** 1985. Biochemistry of C, N, and P in a soil catena of the shortgrass steppe. *Ecology* 66:276-282.
89. **Seybold, C, Mausbach, M, Karlen, D y Rogers, H.** 1997. Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
90. **Singer, M y Ewing, S.** 2000. Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
91. **Sparling, G.P.** 1997. Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En *Biological Indicators of Soil Health* (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.), pp. 97-105, Cab International, Oxon, UK.
92. **SQI-Soil Quality Institute.** 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
93. **Stenberg B.** 1998. Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions. *Biology and Fertility of Soils* 27:104-112.
94. **Tandrón, Issel.** 2005. Relaciones entre propiedades físicas y químicas en Suelos Ferralíticos Rojos de Montaña como base para la obtención de Indicadores de Sostenibilidad. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.

95. **Torstensson, L; Pell, M; Stenberg, B.** 1998. Need of a Strategy for Evaluation of Arable Soil Quality. *Journal Ambio* 37. 4-8p.
96. **Vázquez, Lucrecia.** 2003. Estudios sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos Oscuros Plásticos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
97. **Vilariño, Susana.** 2000. Alternativas para el mejoramiento de los suelos Pardos con Carbonatos con el uso de minerales naturales y abonos orgánico. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
98. **Vizcaino, C; Gracia, M.** 2002. Efecto de la aplicación de yeso y caliza en las formas de aluminio extraíble de unos suelos ácidos. *Revista Edafología*. Vol 7-3. 227-239p. Disponible en: [www.edafologia.urg.es](http://www.edafologia.urg.es). [Consulta: 7 de enero 2006].
99. **Wander M., G. Bollero.** 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63:961-971.

# *Anexos*



## 8. ANEXOS

**ANEXO 1**  
**CATEGORÍAS DE EVALUACIÓN**

<b>% M.O</b>	<b>Categoría</b>
< 1.5	Muy bajo
1.5-3.0	Bajo
3.1-5.0	Mediano
>5.0	Alto

Para la evaluación de cada una de las propiedades físicas se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

<b>Permeabilidad (log 10k)</b>	<b>Categoría</b>
2.00-2.50	Excelente
1.50-2.00	Adecuado
1.00-1.50	Regular
< 1.00	Malo

(Cairo, 2000a)

<b>Agregados Estables (%)</b>	<b>Categoría</b>
>70	Excelente
70 – 55	Bueno
55 – 40	Satisfactorio
40 – 20	Regular
< 20	Malo

Fuente: Laboratorio de suelo (CIAP) UCLV.

<b>Límite Inferior de Plasticidad (%hbss)</b>	<b>Categoría</b>
<25	Bueno
20 - 25	Regular
15 - 20	Bajo

(Cairo, 2003)

<b>Factor de Estructura (%)</b>	<b>Categoría</b>
80 – 100	Excelente
65 – 80	Bueno
55 – 65	Regular
< 55	Mal

(Cairo, 2000a)

## ANEXO 2

## Matriz de correlación para el experimento Estudio de niveles de Fosforita.

Indicador	MO	AE	Altura	FE	K <sub>2</sub> O	LIP	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	log 10k	PF	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	PS
MO		0.0580	0.0347	0.6085	0.1737	0.1099	0.0139	0.1353	0.6700	0.0352	0.1716	0.8722
AE	0.0580		0.1221	0.0000 *	0.0490	0.0000 *	0.0005 *	0.0000 *	0.3202	0.0000 *	0.0997	0.0262
Altura	0.0347	0.1221		0.2326	0.0832	0.0286	0.3001	0.0917	0.2129	0.0248	0.7600	0.3459
FE	0.6085	0.0000 *	0.2326		0.1344	0.0000 *	0.0000 *	0.4963	0.4963	0.0001 *	0.5813	0.0226
K <sub>2</sub> O	0.1737	0.0490	0.0832	0.1344		0.0841	0.2396	0.4230	0.1992	0.0075 *	0.2630	0.0427
LIP	0.1099	0.0000 *	0.0286	0.0000 *	0.0841		0.0000 *	0.0000 *	0.4258	0.0000 *	0.6805	0.0032 *
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0139	0.0005 *	0.3001	0.0000 *	0.2396	0.0000 *		0.0000 *	0.8307	0.0188	0.0959	0.0014 *
log 10k	0.1353	0.0000 *	0.0917	0.0000 *	0.4230	0.0000 *	0.0000 *		0.4936	0.0000 *	0.8048	0.0055 *
PF	0.6700	0.3202	0.2129	0.4963	0.1992	0.4585	0.8307	0.4936		0.2961	0.1685	0.9286
pH H <sub>2</sub> O	0.0352	0.0000 *	0.0248	0.0001 *	0.0075 *	0.0000 *	0.0188	0.0000 *	0.2961		0.7341	0.0603 *
pH KCl	0.1716	0.0997	0.7600	0.5813	0.2630	0.6805	0.2670	-0.0403	-0.2221	0.0554		0.1245
PS	0.8722	0.0262	0.3459	0.0226	0.0427	0.0032 *	0.0014 *	0.0055 *	0.9286	0.0603	0.4442	

## Matriz de correlación para el experimento Estudio de la combinación de compost y su interacción con otros materiales alternativos.

Indicador	MO	AE	FE	K <sub>2</sub> O	LIP	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	log 10k	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl
MO		0.0001 *	0.0000 *	0.0084	0.0000 *	0.0741	0.0001 *	0.5087	0.2945
AE	0.0001 *		0.0000 *	0.0006 *	0.0000 *	0.0146 *	0.0000 *	0.0624	0.2945
FE	0.0000 *	0.0000 *		0.0000 *	0.0000 *	0.0337	0.0000 *	0.3144	0.0140 *
K <sub>2</sub> O	0.0084	0.0006 *	0.0000 *		0.0000 *	0.0337	0.0000 *	0.3144	0.0017 *
LIP	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0010 *		0.0005 *	0.0000 *	0.0136	0.0000 *
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0741	0.0146	0.0337	0.1409	0.0005 *		0.0001 *	0.0017 *	0.0000 *
log 10k	0.0001 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0563	0.0000 *	0.0001 *		0.2384	0.0000 *
pH H <sub>2</sub> O	0.5087	0.0624	0.3144	0.0014 *	0.0136	0.0017 *	0.2384		0.0005 *
pH KCl	0.2945	0.0007 *	0.0140 *	0.0017 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0005 *	

## ANEXO 3

Matriz de correlación para el experimento Estudios de combinaciones organo minerales.

Indicador	AE	FE	IP	K <sub>2</sub> O	LIP	LSP	log 10k	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl
AE		0.0000 *	0.0000 *	0.0082 *	0.0000 *	0.0719	0.0000 *	0.0082 *	0.0914
FE	0.0000 *		0.0000 *	0.0052 *	0.0000 *	0.0314	0.0000 *	0.1126	0.3850
IP	0.0000 *	0.0000 *		0.0974	0.0000 *	0.0001 *	0.0000 *	0.0629	0.4579
K <sub>2</sub> O	0.0082 *	0.0052 *	0.0974		0.0401 *	0.7325	0.0073 *	0.0338	0.3420
LIP	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0401		0.0328	0.0000 *	0.0723	0.2393
LSP	0.0719	0.0314	0.0001 *	0.7325	0.0328		0.0137	0.7165	0.5485
log 10k	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0073 *	0.0000 *	0.0137		0.0109 *	0.1354
pH H <sub>2</sub> O	0.0082 *	0.1126	0.0629	0.0338	0.0723	0.7165	0.0109		0.0001 *
pH KCl	0.0914	0.3850	0.4579	0.3420	0.2393	0.5485	0.1354	0.0001 *	

Matriz de correlación para el experimento Estudio de niveles de gallinaza.

Indicador	AE	FE	IP	K <sub>2</sub> O	LIP	LSP	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	log 10k	pH KCl
AE		0.0000 *	0.1271	0.5538	0.0164 *	0.2627	0.0061 *	0.0000 *	0.0010 *
FE	0.0000 *		0.2829	0.1602	0.0615	0.2465	0.0013 *	0.0000 *	0.0009 *
IP	0.1271	0.2829		0.5454	0.0000 *	0.0348	0.1927	0.0404 *	0.2156
K <sub>2</sub> O	0.5538	0.1602	0.5454		0.4665	0.0055 *	0.1453	0.5276	0.7893
LIP	0.0164 *	0.0615	0.0000 *	0.4665		0.7523	0.7354	0.0068 *	0.7893
LSP	0.2627	0.2465	0.0348 *	0.0055 *	0.0933		0.0387 *	0.5464	0.4887
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0061 *	0.0013 *	0.1927	0.1453	0.7354	0.0387 *		0.0149 *	0.0134 *
log 10k	0.0000 *	0.0000 *	0.0404	0.5276	0.0068 *	0.5464	0.0149 *		0.0008 *
pH KCl	0.0010 *	0.0009 *	0.2156	0.7893	0.0740	0.4887	0.0134 *	0.0008 *	

## ANEXO 4

Matriz de correlación para el experimento Estudio de la aplicación de la Caliza Fosfatada y su interacción con otros materiales alternativos.

Indicador	MO	AE	FE	K <sub>2</sub> O	LIP	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	log 10k	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl
MO		0.0580	0.6085	0.1737	0.1099	0.0139	0.1353	0.0352	0.1716
AE	0.0580		0.0000 *	0.0490	0.0000 *	0.0005 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0997
FE	0.6085	0.0000 *		0.1344	0.0000 *	0.0000 *	0.4963	0.0001 *	0.5813
K <sub>2</sub> O	0.1737	0.0490	0.1344		0.0841	0.2396	0.4230	0.0075 *	0.2630
LIP	0.1099	0.0000 *	0.0000 *	0.0841		0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.6805
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0139	0.0005 *	0.0000 *	0.2396	0.0000 *		0.0000 *	0.0188	0.0959
log 10k	0.1353	0.0000 *	0.0000 *	0.4230	0.0000 *	0.0000 *		0.0000 *	0.8048
pH H <sub>2</sub> O	0.0352	0.0000 *	0.0001 *	0.0075 *	0.0000 *	0.0188	0.0000 *		0.7341
pH KCl	0.1716	0.0997	0.5813	0.2630	0.6805	0.2670	-0.0403	0.0554	

## ANEXO 5

## Interpretación de análisis estadísticos de los indicadores de calidad seleccionados.

Experimento	Indicador	% de Correlaciones Significativas del total	Sensibilidad y Cambio de Categoría	Componentes Principales
<b>Estudio de niveles de Fosforita (12 indicadores)</b>	log 10k	100	1.79-2.44 (Adecuado-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.99%
	FE	100	59.86-80.18 (Regular-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.98%
	AE	90	65.88-81.46 (Bueno-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.91%
	LIP	100	16.99-29.23 (Bajo-Bueno)*	1 <sup>er</sup> Componente 0.98%
<b>Estudio de combinaciones de compost (9 indicadores)</b>	log 10k	87.50	1.98-2.72 (Adecuado-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.88%
	FE	75.00	60.15-76.49 (Regular-Bueno)	1 <sup>er</sup> Componente 0.85%
	AE	75.00	60.33-79.16 (Bueno-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.91%
	LIP	87.50	18.81-26.98 (Bajo-Bueno)*	1 <sup>er</sup> Componente 0.95%
<b>Estudio de combinaciones organo minerales (9 indicadores)</b>	log 10k	62.50	1.96-2.51 (Adecuado-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.88%
	FE	62.50	64.95-80.55 (Regular-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.82%
	AE	75.00	64.74-85.02 (Bueno-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.80%
	LIP	62.50	23.11-31.00 (Regular-Bueno)*	1 <sup>er</sup> Componente 0.71%
<b>Estudio de niveles de gallinaza (9 indicadores)</b>	log 10k	77.77	1.80-2.64 (Adecuado-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.87%
	FE	44.44	59.61-73.46 (Regular-Bueno)	1 <sup>er</sup> Componente 0.89%
	AE	44.44	69.97-83.44 (Bueno-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.95%
	LIP	33.33	20.97-30.20 (Regular-Bueno)*	1 <sup>er</sup> Componente 0.96%
<b>Aplicación de Caliza Fosfatada y su interacción con otros materiales (9 Indicadores)</b>	log 10k	75.00	1.97-2.60 (Adecuado-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.95%
	FE	62.50	60.97-79.49 (Regular-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.91%
	AE	62.50	61.68-78.86 (Bueno-Excelente)	1 <sup>er</sup> Componente 0.89%
	LIP	75.00	18.38-27.48 (Bajo-Bueno)*	1 <sup>er</sup> Componente 0.94%

\*Referido a las arcillas de hidróxidos y caolinita