



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS PRESENTADA EN OPCION AL TITULO ACADÉMICO  
DE MASTER EN AGRICULTURA SOSTENIBLE  
MENCION FITOTECNIA

SELECCIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD  
DE LOS SUELOS HIDROMÓRFICOS DE LA  
COSTA NORTE DE VILLA CLARA

Autora: Ing. Alianny Rodríguez Urrutia

Tutor: Dr. C. Pedro I. Cairo Cairo

2010

“Año 52 de la Revolución”

## PENSAMIENTO

*“... no hay tierra, por rica que sea, que no mejore con el abono,  
ni alma que no se sazone con la vida, ni inteligencia que no  
crezca con el cultivo y ejercicios.”*

*José Martí.*

## DEDICATORIA

*Dedico esta Tesis de Maestría a toda mi familia que ha estado junto a mí en cada batalla y en especial a 2 personas:*

- *A mi Abuela Martha que aunque ya no está físicamente luchó tanto por mí hasta sus últimos momentos.*
- *A mi hijo que pronto vendrá al mundo para ser mi razón de vivir y existir...*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer sinceramente*

- *A mi tutor Dr. C. Pedro I. Cairo Cairo por su excelente guía en la realización de esta investigación.*
- *A los técnicos, especialistas e investigadores del Grupo de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias: Oralia Rodríguez, Sirley Gattorno, Rafael Jiménez, Pedro Torres y Bladimir Díaz por su ayuda incondicional y sabios consejos.*
- *A todos mis compañeros de trabajo del CIAP y la Facultad de Ciencias Agropecuarias.*
- *A los profesores que impartieron esta Maestría.*
- *A mi familia.*
- *A la Revolución Cubana que hizo posible mi formación y educación.*
- *Gracias a todos aquellos que de una forma u otra hicieron posible la culminación exitosa de esta tesis.*

*Por siempre agradecida.*

## RESUMEN

El trabajo se desarrolló en áreas cañeras de la costa norte de la provincia Villa Clara en los municipios de Sagua La Grande y Encrucijada, con el objetivo de determinar las relaciones entre las propiedades del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar con la utilización de enmiendas órgano - minerales en Suelos Hidromórficos, como base para la selección y validación de Indicadores de Calidad. Para ello se trabajó con las bases de datos de 4 experimentos de campo (3 en condiciones experimentales de campo y 1 en condiciones de producción) montados en diferentes etapas hasta los momentos actuales; en los que se utilizaron abonos orgánicos y minerales naturales (cachaza, compost, dolomita, zeolita). Los muestreos de suelo se realizaron de 0 – 20 cm de profundidad para determinar propiedades del suelo como Factor de estructura, Agregados Estables, Permeabilidad, Límite Inferior de Plasticidad, pH agua, pH KCl, Materia Orgánica,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  asimilable. Se evaluaron componentes de rendimiento Caña ( $tha^{-1}$ ) y Pol ( $tha^{-1}$ ). Para la selección de los indicadores de calidad de suelo se utilizaron 2 metodologías. En el procesamiento estadístico se usaron los paquetes SPSS ver. 13.0 y Statgrafics ver. 5.1 sobre Windows XP. También se evaluó económicamente los resultados. Las propiedades que mejor muestran la capacidad del suelo para funcionar, además de presentar más rigor ante el análisis estadístico, así como sensibilidad y cambio de categoría son: Permeabilidad (2.1), Agregados Estables (70%), Factor de Estructura (65%) y Materia Orgánica (3.2%) por lo que se pueden considerar como indicadores de calidad de los Suelos Hidromórficos. Se demuestra la relación existente entre manejo ecológico, índice de calidad de suelo, incrementos del rendimiento de la caña de azúcar y las ganancias obtenidas ( $4\ 000 - 7\ 000\ USDha^{-1}$ ).

## ÍNDICE

	<i><b>Pág.</b></i>
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 Los suelos Hidromórficos y la producción de la caña de azúcar en la Costa Norte de Villa Clara .....	4
2.2 El cultivo de la caña de azúcar en el mundo y en Cuba .....	4
2.3 La Materia Orgánica en los suelos tropicales .....	6
2.3.1.1 Cachaza.....	9
2.3.1.2 Dolomita.....	11
2.3.1.3 Compost.....	14
2.3.1.4 Zeolita .....	16
2.4 La degradación de suelo y medio ambiente .....	18
2.5 La agricultura orgánica hacia un desarrollo sostenible.....	21
2.6 Evaluación de la Sostenibilidad Agraria .....	23
2.7 Calidad de suelo .....	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
3.1 Ubicación y descripción del área de estudio .....	36
3.2 Experimentos desarrollados .....	38
3.3 Descripción del muestreo del suelo .....	42
3.4 Análisis químico del suelo. ....	42
3.5 Análisis físico del suelo.....	43
3.6 Evaluación del rendimiento agrícola e industrial de la Caña de Azúcar .....	44
3.7 Índice de la calidad del suelo.....	44
3.8 Validación del diagrama de calidad propuesto .....	46
3.9 Procesamiento estadístico.....	47
3.10 Evaluación económica.....	47
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
4.1 La Materia Orgánica y su relación con el estado estructural en los diferentes experimentos estudiados.....	48
4.2 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de cachaza. ....	50
4.3 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo condiciones de un experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos.....	55
4.4 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de compost. ....	57
4.5 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos.....	59
4.6 Análisis de los indicadores de calidad de suelo .....	61
4.6.2.1 Relaciones entre el índice de calidad de suelo y el rendimiento. ....	69
4.7 Análisis Económico Ambiental.....	73
5. CONCLUSIONES .....	77
6. RECOMENDACIONES.....	78
7. BIBLIOGRAFÍA	
8. ANEXOS	

## 1. INTRODUCCIÓN

La variación global del clima de la Tierra producida a diversas escalas de tiempo se conoce como *Cambio Climático* (FAO, 2001). Según Mundaca, (2010) el cambio climático es igual al calentamiento neto global más consecuencias. La convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (CMCC), plantea que el fenómeno se debe directa e indirectamente a la actividad humana que altera la atmósfera del planeta y que es adicional a los cambios naturales del clima. Cerca de un tercio del calentamiento de la atmósfera y el cambio climático obedece a la agricultura. Dado que la agricultura participa en tan gran medida en el problema del cambio climático, debe formar parte importante por igual de su solución (FAO, 2001). Las terribles previsiones hasta el año 2100 son: Más calor, más humedad (aumento de la temperatura de 4 – 5 °C, precipitación más del 5% y el nivel del mar aumentará 50cm), desaparición de glaciares, efecto invernadero, cambios en las corrientes submarinas, disminución de las manchas solares y aumento en las precipitaciones sobre el hemisferio norte.

El uso excesivo de fertilizantes, la roturación, la degradación de los suelos, la ganadería intensiva, son las causas fundamentales del cambio climático en la agricultura. La tala de bosques, el desmonte de cerros para producción intensiva de frutales, eliminan sumideros de carbono fundamentales (plantas y suelos que absorben carbono atmosférico) e incrementa el calentamiento global (Mundaca, 2010).

El sistema actual de agricultura “industrial”, basado en el monocultivo, en el uso intensivo de energía fósil en forma de fertilizantes, plaguicidas, maquinaria y combustible, incrementa de manera decisiva la productividad del trabajo, pero es degradante de la base productiva, principalmente del suelo y la biodiversidad. La dimensión ecológica, de los efectos que provoca la agricultura industrializada se expresan en la nivelación o descenso de los rendimientos de producción, derivado de la degradación de la base productiva, (erosión, compactación, esterilización de suelos, disminución de la Materia Orgánica, resistencia e ineficacia de plaguicidas) desplazamiento de la producción de pequeños agricultores hacia zonas marginales y ecológicamente frágiles, introducción de tecnologías de producción destructivas en zonas no aptas para cultivo (Mundaca, 2010).

El deterioro de los suelos se encuentra entre los problemas más apremiantes de la crisis alimentaria mundial. Este es mucho más acentuado y acelerado en regiones tropicales y subtropicales debido a las interacciones de las características de los suelos y el clima, con las prácticas inadecuadas de manejo agrícola (Font *et al.*, 2004).

Se necesita construir un modelo de desarrollo agrícola socialmente justo y ecológicamente más sano en contra de la mirada económica y bursátil en la actividad agrícola que prevalece hasta ahora, para enfrentar el cambio climático. En el centro del debate se encuentra la necesidad de impulsar políticas de desarrollo agrícola que respondan a la imperiosa necesidad de preservar nuestros recursos naturales, es decir, preservar nuestra base agroecológica como garantía de equidad, sustentabilidad y soberanía alimentaria.

En el caso específico de Cuba, los recursos naturales fueron sometidos desde 1942 hasta 1959 a un ritmo de explotación irracional, lo cual redujo la superficie de bosques a solo 14 % del territorio nacional, resultado que unido al manejo inadecuado del suelo y el agua, por la escasez de estrategias causó una pérdida incalculable de la biodiversidad y la conversión de suelos fértiles en totalmente improductivos y degradados provocando a su vez que hoy exista gran cantidad de tierra sin utilidad agrícola.

Los suelos Hidromórficos de la costa norte de nuestra provincia son ampliamente utilizados en el cultivo de la caña de azúcar y presentan en estado natural serias limitaciones para la producción debido a sus propiedades físicas indeseables como su plasticidad extrema, un contenido de arcilla superior al 80% en la mayor parte del perfil, a profundidades mayores de 30cm el porcentaje de Materia Orgánica es menor de 1% y la permeabilidad casi nula. Aunque su porosidad es alta (valores aproximados al 60%), la de aireación rara veces supera al 5% en los primeros 30cm y por debajo de esta profundidad prácticamente no existe. Todas estas características traen consigo drenaje deficiente, inadecuada aireación, así como mala estructura y agregación, estas tienden a agravarse producto de la degradación acelerada ocasionada por el uso de maquinaria agrícola en la cosecha de la caña (compactación del suelo). Cairo, (1990) citado por Pedraza, (2005) plantea que las limitaciones de suelos Hidromórficos para el desarrollo de este cultivo en su capa arable dificultan el desarrollo radical, disminuye el ahijamiento y por ende el rendimiento.

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Una de las alternativas para mitigar este problema es trabajar por evaluar y monitorear la calidad de los suelos. Por lo tanto, los científicos se enfrentan al triple desafío de intensificar, preservar e incrementar la calidad de la tierra. Para ello, es necesario contar con una sólida concepción de la calidad y con indicadores de calidad o salud del suelo y de manejo sostenible de la misma, tal como se cuenta para dar seguimiento a variables sociales y económicas (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Teniendo en cuenta esta problemática planteamos la siguiente hipótesis de trabajo:

### **Hipótesis**

- El empleo de enmiendas órgano - minerales pueden provocar cambios notables en los Suelos Hidromórficos, como base para la selección de Indicadores de Calidad del mismo.

### **Objetivo General**

- Determinar las relaciones entre las propiedades del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar con la utilización de enmiendas órgano - minerales en Suelos Hidromórficos, como base para la selección y validación de Indicadores de Calidad.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar el papel de la Materia Orgánica y su relación con el estado estructural en las diferentes enmiendas órgano - mineral.
- Determinar las relaciones entre las propiedades del suelo y los indicadores de rendimiento de la caña de azúcar.
- Determinar la calidad de los Suelos Hidromórficos sobre la base de las metodologías establecidas.
- Evaluar el impacto económico – ambiental de los resultados.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Los suelos Hidromórficos y la producción de la caña de azúcar en la Costa Norte de Villa Clara**

Los suelos Hidromórficos están ampliamente extendidos en la costa Norte de la provincia de Villa Clara con 56 400 ha (ANEC VC, 2008). Durante un largo tiempo han sido intensamente laborados y se encuentran degradados física y químicamente. Presenta problemas de degradación estructural, acidificación por el uso inadecuado de fertilizantes, salinización y compactación por el uso continuo de la mecanización en las cosechas de caña de azúcar. En estado natural presentan serias limitaciones para la producción agrícola debido a que presentan un bajo contenido de Materia Orgánica, son extremadamente plásticos con mala estructura y agregación, de mal drenaje con una alta capacidad de absorción de agua y una mala distribución del agua – aire, predominando el agua sobre el aire quedando este en una reducida porción del suelo. Vázquez, (2003) y Pedraza, (2005) plantean que las consecuencias para las plantas son que no puede tomar los nutrimentos disponibles del suelo y por tanto trae consigo un menor crecimiento y rendimiento en las cosechas. El crecimiento de la caña de azúcar puede ser afectado en el período lluvioso por la alta humedad y encharcamientos existentes en los campos y en el de extrema sequía por los agrietamientos, causando daños en el sistema radical.

Por la gran importancia que tiene para nuestro país el cultivo de la caña de azúcar y constituir los suelos Hidromórficos una fuente importante para su desarrollo se considera decisivo desde el punto de vista económico el análisis y la búsqueda de formas y métodos para incrementar los rendimientos, aumentar la productividad y disminuir los costos.

### **2.2 El cultivo de la caña de azúcar en el mundo y en Cuba**

Los orígenes de la caña de azúcar se ubican en la India; de ahí se extendió por varios países del Oriente Medio y África del Norte hasta llegar a Europa. Después, Portugal la llevó a la Isla Madeira, y España siguió el ejemplo en Canarias, y ambas naciones la trajeron al nuevo mundo. En 1518, Santo Domingo contaba ya con 28 plantaciones. En nuestro país, se introduce desde el siglo XVI traída de Santo Domingo, pero el

nacimiento de la industria azucarera se puede ubicar a finales del siglo XVI, aunque solo cobraría significación en el XVIII. Según Ely, (2001) por un largo tiempo el cultivo de la caña de azúcar no representó mucho en Cuba.

La caña de azúcar se cultiva comercialmente en numerosas zonas tropicales y subtropicales y abarca 18 millones de ha en 90 países, con cosechas anuales que producen el 64 % del azúcar que se consume mundialmente. Su interés económico no solo radica en su valor energético sino también en su enorme potencialidad como materia prima para la industria farmacéutica, biotecnológica y química (Aloma, (1984) citado por Clavelo, (2008)).

La importancia de la misma radica, en que es una de las plantas que produce mayor cantidad de calorías para el consumo humano, así como por el volumen y diversidad de productos que pueden derivarse, bajo diferentes procesos. El producto principal es el azúcar, ya sea refinada o en forma de mieles, que es materia prima fundamental en industrias productoras de dulces, caramelos, refrescos, etc. Otros productos son: el bagazo (fuente para la obtención de celulosa, distintos tipos de papel, alimento para el ganado y para confeccionar muebles), los productos de fermentación que comprenden una amplia gama, que va desde alcoholes absolutos hasta la obtención de proteínas, pasando por distintos tipos de alcoholes, glicerina, levaduras, CO<sub>2</sub>, ácido láctico, cítrico, glucónico, y enzimas (Sánchez, 1972 citado por Pérez, 1993). Hoy en día son descubiertas nuevas cualidades y los derivados de la caña de azúcar entran en la fabricación de un creciente número de productos (LAMECA, 2003).

Los cultivos suelen explotarse en dos formas, fundamentalmente: intensiva y extensiva. En nuestro país tradicionalmente se ha explotado de forma extensiva la caña de azúcar, en grandes áreas a lo largo y ancho del país, siendo explotada desde hace cinco siglos atrás (Rodríguez, 2007).

Ya en 1861, Ramón de la Sagra se mostraba preocupado por la intensidad de uso de los suelos dedicados a la caña y la dependencia económica que tenía Cuba hacia este producto. Por otra parte Alejandro von Humbolt, desde mediados del siglo XIX, había reparado en la concentración de la agricultura cubana en 2 rubros: el azúcar y el café, y expresó sus esperanzas de que Cuba se tornara menos vulnerable a los azares de la economía internacional, mediante la diversificación de sus cultivos.

Valdés, (1997) plantea que el censo de 1899 nos muestra que de 3 500 000 ha en fincas de labor, solo 10% estaba cultivada, y cerca de la mitad de ellas se dedicaba a la caña de azúcar. Igualmente entre 1946 – 1957, apenas el 22% del área agrícola de Cuba se encontraba cultivada y de ella la caña de azúcar representaba 65.6%. Esta baja proporción de área cultivada, que incluía escasos pastos sembrados y en mayor magnitud, pastos naturales, estaba relacionada con un alta importación de alimentos (Rodríguez, (1963) citado por Cruz, (2005)). Entre los años 1955 – 1958 las importaciones de productos agrícolas representaban entre el 27 y 30%, del total (Gutelman, (1970) citado por Cruz, (2005)).

Se puede constatar la intención de diversificar la agricultura en los primeros años de la década del 60, los resultados fueron efímeros, esto tuvo que ver con los rasgos esenciales de nuestra cultura agraria monoprodutora y monoexportadora. En la estructura de áreas sembradas la caña ocupaba el 39.6% de la superficie cultivada, la ganadería el 15.5% y los cereales el 19.6%. En la zafra 1988 -1989 se reportó una producción de más de 8 millones de toneladas de azúcar y se utilizó el 57% de la superficie cultivable del país.

A partir de la zafra 2002 – 2003 hubo reestructuraciones en el sector cañero, se cerró 45.5% de las 156 industrias de producción de azúcar de caña y se reorientó la mitad de la superficie dedicada a este cultivo hacia la producción de alimentos para el consumo interno y a la siembra de árboles maderables y frutales. La nueva política azucarera tiene entre sus objetivos “concentrar la producción en los ingenios y en las tierras mas eficientes” (Álvarez y Mattar, 2004).

### **2.3 La Materia Orgánica en los suelos tropicales**

La Materia Orgánica del suelo (MOS) es uno de los recursos naturales más importantes y desde la antigüedad se reconoce como un agente primordial de la fertilidad natural del suelo (Pérez, 2000) y (Giner, 2004). La fertilidad y capacidad productiva de nuestros suelos dependen en gran medida del contenido de humus y también de la Materia Orgánica (Cairo y Fundora, 2005).

Kolmans *et al.*, (1999) y Pérez, (2000) plantea que la Materia Orgánica está formada por los residuos animales y vegetales del suelo, que en condiciones favorables son descompuestos y transformados por los organismos del suelo, perdiendo su estructura

original. Esta actividad está condicionada por la planta, la cual al morir alimenta al edafón y a continuación de su actividad mineralizadora, le son devueltos al suelo los nutrientes extraídos; contribuyendo todo a crear un ciclo vegetativo. La transformación está influenciada por las condiciones ambientales, así como por las características físicas y químicas.

La Materia Orgánica constituye solo un por ciento del peso del suelo (1 – 6 %), la cantidad y tipo de la misma influye en casi todas las propiedades que se atribuyen a la calidad del suelo (Magdoff, 1997) y puede variar en el suelo desde 1.5 hasta 4.5 %, esto representa entre 45 y 135 t. /ha de Materia Seca (Kolmans *et al.*, 1999).

López (1997) refiere que dado el contenido tan bajo de Materia Orgánica de los suelos cubanos (por lo general menor que el 3 %) es conveniente hacer una aplicación de esta al suelo incorporándola durante las labores de preparación.

La aplicación de Materia Orgánica constituye una premisa imprescindible para la protección y recuperación de los suelos, para aliviar los problemas de salinidad, mal drenaje y el régimen hídrico de los mismos (García *et al.*, 1998).

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).

Stevenson, (1994) define al Humus como una fracción de la Materia Orgánica que engloba a un grupo de sustancias difícilmente clasificables, de color oscuro, muy resistentes al ataque microbiano, de alto peso molecular, de naturaleza coloidal y de propiedades ácidas. En su descomposición hay dos grupos de sustancias las húmicas y las no húmicas. Para Kolmans *et al.*, (1999) el humus es el resultado de la descomposición de la Materia Orgánica debido a la actividad del edafón, que solubiliza y libera los nutrientes para ser absorbidos por la planta. En nuestras condiciones la tasa de acumulación de humus en el suelo es baja, por lo que se debe fomentar el reciclaje intensivo de la Materia Orgánica.

La importancia de la Materia Orgánica en el suelo ha sido reportada por muchos autores (López, (1997); Montesinos, (1998); Uranga y Erburu, (1999); (Cabrera *et al.*, (2000); Jaramillo, (2002); Crespo *et al.*, (2003); Fernández *et al.*, (2003); Vicente,

(2003); Giner, (2004) y Cairo y Fundora, (2005)) desde varios puntos de vista. Mejora la fertilidad del suelo a través de su efecto sobre las propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas. Es importante en la recuperación, conservación y el mejoramiento de los suelos y su capacidad agroproductiva. Forma parte de del ciclo del Nitrógeno, Fósforo y Azufre. Mejora la estructura del suelo incidiendo en la relación agua – aire de la rizósfera favoreciendo la estabilidad del mismo. Almacena nutrientes y los libera en forma asimilable para las plantas. Aumenta de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y la Capacidad Amortiguadora o Tampón – pH del suelo, además regula la energía. Tiene efectos fisiológicos sobre la planta como son la absorción de sustancias húmicas, el crecimiento del sistema radicular y el desarrollo de la parte aérea de la planta. Los contenidos de MOS están relacionados de forma cuantitativa y directa con los componentes de desarrollo y rendimiento del cultivo. Incrementa la actividad microbiana del suelo y mejora la eficiencia de los fertilizantes inorgánicos sobre la cosecha y hace más económico el uso de estos últimos.

Para lograr estos resultados al suelo hay que hacer grandes aportes de Materia Orgánica de buena calidad. Se ha comprobado que los suelos con suficiente contenido de Materia Orgánica inhiben la propagación excesiva de gérmenes patógenos naturales del suelo y mantienen las poblaciones de microorganismos en equilibrio (Kolmans *et al.*, 1999).

### **2.3.1 El uso de abonos orgánicos y minerales naturales en la agricultura**

Los abonos orgánicos son productos obtenidos por la descomposición de la Materia Orgánica sometida a la acción aerobia de microorganismos no perjudiciales (*Aborgánicos del Huila*, 2004).

Según Rodríguez (2007) en la agricultura se han utilizado muchas alternativas orgánicas como son: compost, humus de lombriz o vermicompost, guano de murciélago, cachaza y otros residuos de la agroindustria azucarera, gallinaza, estiércoles de diversa procedencia, abonos verdes, residuos industriales (pulpa de café, residuos de destilería, vinaza, etc.), entre otras fuentes. Su utilidad ha sido comprobada por innumerables autores en diferentes países.

Los residuos orgánicos son de baja concentración en nutrientes en comparación con los fertilizantes minerales (Rodríguez, 2007).

Los abonos orgánicos incrementan las formas orgánicas e inorgánicas de los nutrientes asimilables (Gómez *et al.*, (1998)), además influyen favorablemente en las propiedades físicas como la formación de agregados estables y la retención de humedad. También incrementan la actividad biológica ya que son ricos en elementos biológicos, aportan gran cantidad de microorganismos al suelo Yagodin, (1986) y Cabrera, (1988) citados Rodríguez, (2006). Su uso permite ahorrar fertilizantes y un incremento en la producción de una gran cantidad de cultivos (Gandarilla, (1988) citado Rodríguez, (2006).

### **2.3.1.1 Cachaza**

Uno de los residuos de la industria azucarera más investigado y empleado en Cuba como abono orgánico es la cachaza (torta de filtro) (García *et al.*, 2000). Posee un alto valor fertilizante, destacándose por el elevado contenido de fósforo, calcio, nitrógeno y en menor proporción de potasio. Por lo general contiene más del cincuenta por ciento de Materia Orgánica.

Por cada tonelada de materia prima se obtiene alrededor de 30 Kg. de este producto. Al no tener una alternativa de uso, tradicionalmente la cachaza fue eliminada de las fábricas vertiéndola a los cursos de agua, con un efecto nocivo sobre el medio ambiente. Por esta circunstancia, se acepta que tendría un costo de producción cero por ser un residuo que se deshecha (Maccio, 2007).

En la caña puede sustituir todo el fertilizante químico durante tres años en suelos arenosos y en suelos arcillosos silíceos como promedio hasta cinco años cuando se emplean dosis de 120 a 160  $\text{tha}^{-1}$  y 180 a 240  $\text{tha}^{-1}$  respectivamente; se puede reducir la dosis en 1/3 - 1/4 si se aplica localizado. Cuando se aplicó cachaza, los rendimientos aumentaron como promedio entre 10 – 20  $\text{t tha}^{-1}\text{año}^{-1}$  en comparación con el tratamiento donde solo se aplicaron fertilizantes minerales (Arzola *et al.*, 1990).

Arzola, (1968) y Aloma (1973), (citado por Vilariño, 2000) plantean que la cachaza final contiene del 30 al 50 % de fibra, de 10 a 15 % de materia terrosa, de 10 a 20 % de cera y grasa, de 6 a 12 % sustancias nitrogenadas, de 8 a 16 % de sustancias azucaradas (azúcares reductores y sacarosa) y de 10 a 15 % de Fosfato de Calcio. Vásquez (1951) citado por Rodríguez (2007).

La cachaza es fuente de Materia Orgánica y nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Calcio, etc.) empleada adecuadamente incrementa la germinación, el rendimiento, sustituye la

fertilización nitrogenada y fosfórica durante 4 cosechas. Tradicionalmente se incorpora en la capa arable del suelo antes de la plantación, pero cuando se utiliza de forma localizada mejora el aprovechamiento por la planta de los nutrientes y permite que con sólo la tercera parte de la dosis se alcanzan tan buenos rendimientos y mayores ganancias, que cuando se incorpora la totalidad de la misma Arzola (2004).

La aplicación de este abono al suelo conduce a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas por lo que aumenta su fertilidad y le incorpora al suelo gran cantidad de macro y micronutrientes de los últimos fundamentalmente calcio y magnesio. En relación a la incorporación de potasio móvil se recomienda combinarlo con fertilizantes inorgánicos ya que ella por si sola es insuficiente.

Prasad, (1977); Jiménez, (1986); Suárez, (1987); Fernández, (1988); Castro, (1990) (citados por Vilariño, 2000); Hernández, (1987); Hernández, (1988) y Ortega, (1993) (citado por Rodríguez, 2006) señalan que la aplicación de cachaza mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo que aumenta su fertilidad y además incorpora macro y micronutrientes, fundamentalmente Calcio y Magnesio. Los rendimientos del cultivo fueron superiores en las diferentes dosis de cachaza, siendo el mejor cuando se aplicó  $50 \text{ tha}^{-1}$  de este abono orgánico.

Ramírez, (1991) y Toledo et al., (1992) citados por Rodríguez, (2006) evaluando económicamente algunos métodos de mejoramiento aplicados en suelos plásticos dedicados a la caña de azúcar reportaron incrementos en las propiedades físicas estudiadas así como en los rendimientos del cultivo cuando se aplicó niveles de cachaza al suelo.

La cachaza se ha aplicado en otros cultivos como la piña (Treto *et al.*, 1992) citado por Clavelo, (2008), árboles jóvenes de cítricos, café, plátano, hortalizas, arroz, así como vegetales en organopónicos (Peña *et al.*, 1995) citados por Clavelo, (2008). Rodríguez, (2006) obtuvo incrementos significativos del rendimiento del banano FHIA- 18 en sistema extradenso y efectos positivos sobre el suelo Pardo con Carbonatos al aplicar cachaza en diferentes dosis combinada con ceniza y el 25% NPK, respecto al Control sin fertilización y al Testigo 100% NPK.

La aplicación de cachaza facilita una mayor agregación y por lo tanto una mayor permeabilidad del suelo que puede llegar a valores de 2.50 lo que muestra el papel que juega en las transformaciones físico, químicas y biológicas del suelo (Colás, 2007).

### 2.3.1.2 Dolomita

Derivado de dolomía nombre creado en honor del geólogo y mineralogista francés Silvano Dolomieu (1750 – 1802), que estudió estas rocas Sistema cristalino. La dolomita es semidura, no muy pesada y frágil, es infusible, ya que se descompone en casi todos los carbonatos. Según la composición mineral de la rocas carbonatadas se reconocen 2 grandes grupos: las calcáreas – dolomita y las margosas. las calcáreas – dolomita pueden dividirse en 4 tipos: caliza, caliza – dolomítica, dolomítica – calcítica y dolomita (Teodorovich, (1958) citado por Pedraza, (2005).

Betejtin, (1970) citado por Vázquez, (2003) plantea que es un mineral muy propagado como componente de las rocas y que puede constituir macizos enteros. Según Klokman, (1961) y Millar, (1962) citados por esta misma fuente la dolomita pura se compone de una molécula de  $\text{CaCO}_3$  y otra de  $\text{MgCO}_3$  (54.35 y 45.65% respectivamente), otras mezclas con proporciones de  $\text{MgCO}_3$  menor, raras veces mayor sin en realidad asociaciones con calcitas y magnesitas.

Según Betejtin, (1970) y Smirnov, (1982) citados por Vázquez (2003) esta roca es un bicarbonato de calcio y magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) en una proporción media de 30.4% de  $\text{CaO}$ , 21.7% de  $\text{MgO}$  y 49.9% de  $\text{CO}_2$ , como impurezas puede contener hierro y manganeso, resumiendo la dolomita es muy rica en calcio y en magnesio, tiene lenta liberación, por lo que no hay riesgos de quemar las plantas. Es un componente muy bueno puesto que regula el pH del suelo acercándolo siempre a neutro.

Se ha demostrado que su aplicación en la agricultura produce el siguiente efecto:

- Puede corregir la acidez, neutralizando los ácidos producidos.
- Proporciona calcio y magnesio, esenciales en el crecimiento de las plantas.
- Reduce la actividad de sustancias tóxicas del suelo, como el aluminio, el manganeso, aumentando la disponibilidad del fósforo, el nitrógeno y el azufre.
- Acelera la descomposición de la Materia Orgánica y la liberación de nutrientes.

Las ventajas principales en el uso de la dolomita como fertilizante y mejorador de suelos ácidos son las siguientes:

- Presenta un valor neutralizante de 107,8 lo que significa que 100 kg de dolomita equivalen a 107 kg de carbonato de calcio puro con pH de 4.5,

- Tiene una fineza de partículas de 60 – 200 mallas pulgadas, lo que favorece su máxima reactividad en el suelo, por lo que neutraliza en poco tiempo la acidez de 5.0 y 6.0 reacciona en un periodo de 3-6 semanas.
- Su costo es muy bajo y accesible para los productores. Es la manera más económica de agregar magnesio.
- Aumenta la tolerancia de los cultivos a las enfermedades al propiciar un balance adecuado de los nutrientes del suelo en condiciones de acidez.
- Mejora los rendimientos aumentando la cantidad y calidad de frutos y cosechas.

Depósitos de dolomitas podemos encontrar distribuidos por todo el mundo, en Perú las calizas son las más abundantes entre todas las rocas de carbonatos. Los yacimientos en las costas son los más accesibles, cerca de Lima se explotan algunas formaciones. En la costa de Ancash se han encontrado relativamente pequeños e irregulares yacimiento y así en toda la cordillera occidental. En Cuba se puede encontrar en Remedio, Villa Clara en las Lomas de Madruga en la Habana, en la Sierra de Jatibonico, en Santi Spíritus, en la Sierra de Cubitas, Camagüey y el de las Lomas de Cupeicillo, en Holguín (Núñez *et al.*, 1994). Estudios actuales realizados concluyeron que el yacimiento ubicado en la provincia de Villa Clara, presenta una composición química promedio de 16.91 – 18.35% de MgO, 33.38 – 34.99% de CaO, 0.09 -0.87% de SiO<sub>2</sub>, 0.04 – 0.21% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.04 – 0.13% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. También presenta un peso volumétrico de 2.70 – 2.73 gcm<sup>-3</sup>, peso específico de 2.80 – 2.83 gcm<sup>-3</sup>, absorción de 0.8 – 1.17% y porosidad 3.1 – 4.44%. Cabrera, (1998) este yacimiento presenta 34.24% de CaO, 17.92% de MgO, 0.26% de SiO<sub>2</sub>, 0.20% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 0.04% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La dolomita varía su color entre blanco, rojizo, amarillo, pardo o negro. Raramente es incoloro. Presenta un aspecto vitreo a perlado y es de transparente a traslucida.

La dolomita se ha utilizado en la agricultura como material encalante, pues esta compuesta por calcio y magnesio y se consideran necesario para la fertilidad en general de lo suelos y nutrición de las plantas (Rodríguez, 2003).

Según Papp, (1988) dosis entre 2 y 4 tha<sup>-1</sup> en suelos arenosos de pH bajos, amentaron la disponibilidad de Mg en los primeros 20cm, al igual que el pH, trayendo como consecuencia el aumento de Mg en las hojas y disminución de Ca en las mismas; por lo que hay que tener cuidado con la aplicación de altas dosis de dolomita.

Aguiar (1997) en suelos Ferralíticos rojos donde se utilizaron compost más dolomita, demuestra que existe una tendencia al aumento del pH.

Goya (1998) sobre una propuesta para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos de Manicaragua utilizando diferentes mejoradores minerales donde se utilizaron compost  $4 \text{ tha}^{-1}$  + dolomita  $2 \text{ tha}^{-1}$ , además de la zeolita sola a razón de  $4 \text{ tha}^{-1}$  se logró un aumento significativo del pH, y un mejoramiento en la estructura del suelo.

Cairo (1999) realizó un trabajo en condiciones controladas probando niveles de  $0-10 \text{ tha}^{-1}$  en los suelos Oscuros Plásticos. Los resultados obtenidos demuestran que la mejor respuesta en el suelo se logra con niveles de  $4 \text{ tha}^{-1}$ . El mismo autor plantea que todos los tratamientos presentan diferencia significativa con respecto al testigo en cuanto a permeabilidad, agregados estables, factor de estructura y límite inferior de plasticidad. Como criterio general para mejorar la estabilidad estructural del suelo, importante para el drenaje laboreo y aireación, se recomendó todos los tratamientos aplicados menos el NPK que normalmente se aplica por desconocimiento de estas técnicas mucho más barata y beneficiosas para restablecer la fertilidad del suelo.

Vázquez, (2003) y Pedraza (2005) en estudios sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos oscuros plásticos obtuvieron que la aplicación de dolomita mejora sustancialmente las condiciones químicas del suelo estudiado, aumenta la reacción del suelo, los contenidos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  asimilables y la Materia Orgánica del suelo. También hace que el estado estructural mejore de forma significativa (la permeabilidad, los agregados estables y el factor de estructura). La dolomita ejerce un efecto importante sobre las propiedades del suelo desde niveles de  $2 \text{ tha}^{-1}$ , siendo el más adecuado  $4 \text{ tha}^{-1}$ . Del cálculo a partir de las relaciones entre dosis de dolomita y rendimiento de caña ( $\text{tha}^{-1}$ ) obtuvieron que la dosis óptima agronómica es  $3.76 \text{ tha}^{-1}$  y la dosis óptima económica de  $3.24 \text{ tha}^{-1}$ . Los efectos de la dolomita y sus combinaciones se reflejan hasta los 40cm de profundidad, lo cual contribuye al aumento de la profundidad efectiva. Comprobaron el efecto residual de de los tratamientos en un pronóstico superior a los 24 y 36 meses respectivamente. La Materia Orgánica muestra relaciones muy estrechas con otras propiedades físicas y químicas del suelo. Los indicadores utilizados para evaluar el estado estructural del suelo guardan relaciones positivas y significativas entre sí. Bajo las condiciones estudiadas se encontraron estrechas relaciones entre las propiedades del suelo (estado estructural) y el

rendimiento de la caña de azúcar. Las combinaciones que mejores respuestas demuestran sobre las propiedades estudiadas son dolomita + cachaza y dolomita + compost.

### **2.3.1.3 Compost**

El compostaje o “composting” es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura.

El compost es considerado como un material biológicamente activo, resultado de la descomposición de la Materia Orgánica bajo condiciones controladas. Es utilizado para promover el reciclaje de nutrientes el mejoramiento del suelo y el crecimiento de los cultivos. Al aplicarlo los microorganismos que se encuentran en el suelo continúan los procesos de degradación de la Materia Orgánica. (Funes-Monzote, 2008)

Pequeño, (1966) señala que es un producto de la mezcla de todos los desechos vegetales y estiércol, con el objetivo de que sufran la descomposición microbiana mediante fermentación y se convierta en un tiempo prudencial.

La fertilización orgánica a través del compost es una alternativa valida para aprovechar residuales que no se pueden aplicar directamente al suelo por su Alto contenido de carbono (paja, restos leñosos, estiércoles frescos, etc.), su confección es sencilla y presentan muchas ventajas que promueven su uso, (Van Horn, 2005), como son:

- Incrementa el % de Materia Orgánica del suelo
- Su efecto es más a largo plazo pues va mineralizándose poco a poco.
- Mejora y estimula la diversidad y la actividad biológica microbial del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.
- Mejora las propiedades físicas del suelo como la estabilidad de la estructura, de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad total y permeabilidad. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor capacidad de retención de agua, el movimiento a través del suelo y el crecimiento de las raíces. También ayuda a reducir la erosión.

- No alberga microorganismos patógenos, pues son eliminados a causa de de las temperaturas que se alcanzan durante el proceso de formación (compostaje), (España, 2003). La actividad de los microorganismos reduce la de los microorganismos patógenos a las plantas.
- Mejora las propiedades químicas. Contiene muchos macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, aumentando el contenido en N, P, K, y micronutrientes; la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C).
- Provoca la formación de humus, complejo más estable de la Materia Orgánica que se encuentra como componente del suelo y responsable de la fertilidad

N' Deyegamiye, (1991) y Forster *et al.*, (1993) refieren que el compost maduro presenta alto contenido de nitratos como resultado del composteo aeróbico. Machado, (1991) refiriéndose al compost plantea que este incrementa en sus diferentes condiciones el peso fresco, la altura y el peso seco de la planta, fundamentalmente el nitrógeno foliar. Freire, (1992) en un estudio sobre la utilización de biotiemras obtenidas de cachaza en suelos oscuros plásticos dedicados a la caña de azúcar, obtuvo que a través de la permeabilidad del suelo se evidencia el efecto positivo de de los tratamientos sobre el estado físico en comparación con el testigo. Los mejores resultados sobre el mejoramiento del suelo se manifiestan con el compost aplicado localizado y superficial. Se comprobó que la que la aplicación de compost en diferentes niveles aumenta la Materia Orgánica, el pH, el Fósforo asimilable y la estabilidad estructural del suelo. Aunque todos los niveles de compost aplicado tuvieron efecto sobre el testigo, los mejores niveles de aplicación están entre 3 – 5  $\text{tha}^{-1}$ .

Cairo *et al.*, (1995) en experimentos bajo condiciones controladas arribaron a la conclusión de que las aplicaciones de compost solo o combinado con zeolita aumenta significativamente el % de Materia Orgánica, el  $\text{P}_2\text{O}_5$  asimilable, el % de Agregados Estables, la Permeabilidad, el Límite Inferior de Plasticidad y el Factor Estructura.

De manera general la aplicación de compost promueve la capacidad de intercambio de nutrientes, el equilibrio de agua y la estructura del suelo. Esto trae como consecuencia una menor erosión de los nutrientes del suelo, un mejor desarrollo radicular de los cultivos lo que hace más ecológico el uso de los mismos (López, 1997).

#### 2.3.1.4 Zeolita

El nombre de Zeolita proviene de las palabras griegas: “zeein” = hervir y “lithos” = piedra; que significa “piedra hirviente”. Este nombre fue dado por el investigador sueco, Barón de Cronsted, que en el año 1756 (<http://www.soil-fertility.com/zeolite/espagnol/index.shtm>)

Las Zeolitas se presentan de forma natural en rocas de origen volcánico, y son minerales del grupo alumino-silicatos hidratados compuesto por: Aluminio, Sílice, Hidrógeno y Oxígeno; organizado en una estructura tridimensional tetraédrica altamente estable (<http://www.soil-fertility.com/zeolite/espagnol/index.shtm>)

En este contexto, los resultados obtenidos con zeolitas naturales o sus mezclas con residuos orgánicos merecen ser considerados, dado el hecho de que Cuba dispone de elevadas reservas de este valioso mineral, posibilitando su uso a escala regional en dependencia de los requerimientos de los diferentes tipos de suelos.

Las zeolitas naturales pueden jugar un papel importante en el mejoramiento de los suelos, basado en su elevada capacidad de intercambio catiónico, su alto poder de absorción y su gran afinidad por los iones amonio y potasio. Puede desempeñar un papel importante en la agricultura ya que brinda la posibilidad de eliminar el fraccionamiento de los fertilizantes, lo cual sin duda disminuye los costos y se ahorran fertilizantes, ella libera los nutrientes según lo requiera la planta y se reducen las pérdidas por volatilización (Hernández, 1990) (citado por Colás, 2007).

Según Cabrera y Bouzo (1999) en la agricultura se han encontrado efectos favorables como:

- 1- Combinada con fertilizante nitrogenado disminuye las pérdidas por volatilización y lo libera gradualmente, más acorde con las necesidades de las plantas.
- 2- Pueden actuar como fertilizantes de liberación lenta evitando así las perdidas de nutrimentos debido a procesos desfavorables.
- 3- Retiene el agua que se le aplica al suelo, lo que reviste gran importancia sobre todo en zonas áridas en las que se retiene poca agua, pueden reducir las aplicaciones de riego, con el consiguiente ahorro de agua y energía.
- 4- Producen un efecto en los suelos (arenosos ácidos) comparable incluso con el encalado, con la ventaja de que mejora las propiedades físico-químicas en estos suelos.

- 5- Actúan también como un eficiente descontaminante en los suelos pesados en lo que representa los iones pesados como son: Cs, Cd, Zn, Pb.
- 6- Su presencia ejerce un efecto favorable en el aumento de la capacidad de cambio cationico del suelo.
- 7- Pueden ser utilizadas como soporte de pesticidas, y productos estimuladores del crecimiento de las plantas, disminuyendo los niveles de contaminación en los suelo.
- 8- Evitan el endurecimiento de los fertilizantes almacenados.
- 9- Tiene efectos positivos en el incremento de los rendimientos de los cultivos.

Gordillo, (1991) en un trabajo sobre la factibilidad de la utilización de la zeolita en el mejoramiento de los suelos oscuros plásticos dedicados a la caña de azúcar encontró que a través de la permeabilidad del suelo se evidencia el efecto positivo de los tratamientos sobre el estado físico en comparación con el testigo. Los mejores resultados sobre el mejoramiento de la estructura tanto a la profundidad de 0 -20cm como de 20 – 40cm los manifiestan aquellos tratamientos en los que se mezcló la cachaza con zeolita (10% de incremento de la humedad para el LIP y 10% de incremento del Factor de Estructura con relación al testigo). Tanto en condiciones controladas como de campo se obtienen incrementos del pH y del Fósforo y el Potasio asimilables, siendo más destacado en tratamientos en los que se mezcló la cachaza con zeolita. La Materia Orgánica y el valor T también aumentan en todos los tratamientos de forma significativa. Al establecer la dinámica de humedad en la capa arable en relación con el LIP se pudo comprobar que a diferencia del testigo con el uso de Zeolita  $7.5 \text{ tha}^{-1}$  + Cachaza  $22.5 \text{ tha}^{-1}$  alcanza mas rápido su condición de laboreo. La mezcla de zeolita más cachaza mostró una estrecha relación entre las condiciones de suelo creadas y los indicadores de rendimiento de la caña de azúcar.

Febles, (1998) en investigaciones realizadas en la Empresa de Cultivos Varios de Manacas en la provincia de Villa Clara con zeolitas naturales, muestran para una dosis óptima de 6 t/ha un mejoramiento integral en las propiedades de un suelo Ferralítico cuarcítico amarillo-rojizo lixiviado. Dosis crecientes de zeolita (o hasta 12 t/ha) en cultivos de boniato, ajo y tomate produjeron efectos positivos en cuanto a humedad higroscópica, peso específico y estructura (agregados del suelo). Por otra parte hubo incrementos en pH, Ca, Mg, Na, K, CCB,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  con un aumento en rendimiento

que fluctuó entre 17.4 y 20.5 t/ha para el boniato, 1.9 y 3.4 t/ha para el ajo y 8.6 y 21.0 t/ha para el tomate.

## 2.4 La degradación de suelo y medio ambiente

Nuestro planeta enfrenta cinco grandes problemas: cambios climáticos, destrucción de la capa de ozono, pérdida de la diversidad biológica, contaminación y subdesarrollo y pobreza; de su solución o mitigación en un breve tiempo, va la propia existencia del hombre como especie. En el caso de nuestro país los principales problemas son: degradación de los suelos, deterioro del saneamiento en asentamientos humanos, deforestación, contaminación de las aguas terrestres y marinas y pérdida de la diversidad biológica.

El deterioro de los suelos se encuentra entre los problemas más apremiantes de la crisis alimentaria mundial. Este es mucho más acentuado y acelerado en regiones tropicales y subtropicales debido a las interacciones de las características de los suelos y el clima, con las prácticas inadecuadas de manejo agrícola (Font *et al.*, 2004).

Según Treto *et al.*, (2005) en Cuba se pueden delimitar cinco períodos históricos que han tenido diferente connotación o influencia en el manejo de la conservación o la degradación de los suelos.

- El primero es el período precolonial, antes de 1492 Cuba estaba cubierta de bosques, los suelos eran vírgenes y las comunidades indígenas vivían en equilibrio con la naturaleza.
- El segundo es la Colonia de España 1492-1902 (410 años) que se caracterizaba por suelos vírgenes, donde comienza a desarrollarse la agricultura comercial; fundamentalmente la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el café (*Coffea arabica*). Se inicia la tala de los bosques, la quema de los residuos y la degradación de los suelos hace su aparición, alguna conservación, prevalecen pequeña y mediana propiedad.
- Luego Cuba pasa a ser Neocolonia norteamericana 1902-1958 (56 años) este período relativamente breve fue decisivo en la depauperación acelerada de los suelos por varias razones. Si en cuatro siglos de colonización española habían desaparecido la mitad de nuestros bosques, en apenas cincuenta años sólo

quedaba en pie el 14% de la cubierta forestal. Para agravar esta situación surgen los grandes latifundios dedicados la mayoría al cultivo de la caña de azúcar. Se entroniza así el monocultivo y su acción degradante del suelo y del país. Por otra parte, en esta etapa no existió la voluntad política para preocuparse y ocuparse por frenar estos fenómenos negativos; en resumen hubo una fuerte degradación muy poca conservación y prevalece grandes latifundios con monocultivo.

- El cuarto período es el Socialista (antes del derrumbe del campo socialista del Este de Europa) 1961-1989 (28 años) hubo grandes cambios decisivos para toda la vida del país, el período de la revolución socialista; con cooperación económica del campo socialista del este de Europa. Si bien en esta etapa continúa la degradación de los suelos, se comenzó el estudio de estos fenómenos y la implementación de medidas de conservación como el control de la tala indiscriminada de los bosques así como el inicio y desarrollo de la reforestación organizada, entre otras. Esto logró frenar la deforestación y comenzar a recuperar la cubierta forestal perdida en el que se inició y desarrolló de medidas de conservación. Los grandes latifundios se nacionalizaron y se crearon las grandes empresas estatales socialistas. Estas, como modelo de desarrollo “moderno” tuvieron como característica la utilización de gran cantidad de maquinaria agrícola pesada, equipos de riego, alta aplicación de productos químicos, persistencia del monocultivo y otras prácticas degradantes (prevalecen grandes empresas estatales con altos insumos y continúa degradación con menor intensidad). Por otra parte sin embargo, se fundaron y desarrollaron institutos de investigación que se dedicaron al estudio de los suelos y de medidas para su recuperación. También el Ministerio de la Agricultura (MINAG) creó la Dirección General de Suelos y Fertilizantes (DGSF) con la misión de implementar su cuidado y conservación.
- El último es el Socialista (después del derrumbe del campo socialista del Este de Europa) 1990-2000 (10 años), cuando Cuba sigue siendo socialista, pero tiene que enfrentar una severa crisis económica producto del derrumbe del campo socialista del Este de Europa, además de continuar sometida a un bloqueo económico por parte de los Estados Unidos de América de casi 40 años. Aquí hay un gran incremento de medidas de protección y control de la degradación. El

surgimiento de ésta crisis y acontecimientos mundiales como la toma de conciencia de los graves problemas ecológicos que el hombre ha creado con su proceder, han cambiado profundamente la estructura y el modo de acción de la agricultura cubana. Las grandes empresas estatales se dividieron, en su mayoría, en pequeñas o medianas cooperativas, se desarrolló a gran escala la agricultura en la periferia de las ciudades, todo esto con métodos de bajos insumos, uso de Materia Orgánica, tracción animal, rotación de cultivos, policultivos y otras prácticas que ayudan a la conservación del suelo (prevalecen la pequeña y mediana propiedad con bajos insumos).

Según CITMA, (1998) citado por Treto et al., (2005) en los estudios efectuados se conoce que el 14% de la superficie de suelos en Cuba está afectada por la desertización y en la actualidad aún gran cantidad de suelos están afectados por diferentes procesos degradativos. Existen 1 millón de hectáreas (14.9% de la superficie agrícola) con problemas de salinidad y sodicidad, la erosión (fuerte a media) afecta 2.9 millones de ha (43.3% de la superficie agrícola), el 40.3% de la superficie agrícola presenta mal drenaje (2.7 millones de ha) y con mal drenaje interno 1.8 millones de ha de suelo agrícola (26.9%). La baja fertilidad alcanza ya 3.0 millones de ha (44.8% de la superficie agrícola), con compactación elevada existen 1.6 millones de ha (23.9%). Los problemas de alta acidez ya afectan al 24.8% (1.7 millones de ha de suelos agrícolas) y con muy baja Materia Orgánica hay 2.1 millones de ha que representan el 31.8% de nuestra superficie agrícola. Por baja retención de humedad se encuentran afectadas 2.5 millones de ha para el 37.3% de los suelos agrícolas y por alta pedregocidad y rococidad 0.8 millones de ha (11.9% de la superficie agrícola).

Los problemas económicos y ecológicos que han estado afectando al país nos llevaron a dar pasos acelerados para la implementación práctica de los resultados obtenidos hasta este momento con relación al uso de alternativas, destacándose la utilización de los residuos de la agroindustria azucarera, los biofertilizantes, la producción y utilización de humus de lombriz, compost y biotiemras, así como se retomaron las investigaciones y el uso de los abonos verdes entre otros.

Las pérdidas de MO que ocurren en la conversión de ecosistemas naturales en la agricultura convencional se atribuyen principalmente a cuatro factores:

- La cantidad de MO retornada al suelo a través de los restos de plantas es a menudo más baja en los sistemas de agricultura convencional que en los sistemas naturales. Esto ocurre debido a que bajo las condiciones de la agricultura convencional una parte del cultivo (material orgánico) es cosechado y removido del sistema.
- Se produce un cambio en las especies de plantas cuando un sistema natural se convierte en uno de producción agrícola. Este cambio resulta a menudo en que se cambie la deposición de MO de retoños y raíces dentro del perfil del suelo.
- Un cambio en las condiciones climáticas del suelo (temperatura y humedad) y las condiciones del suelo (la ruptura de la MO, estabilizada y protegida debido al laboreo) ocurre bajo la producción particularmente en los sistemas cultivados, conduciendo a una gran mineralización de la MO comparado con el sistema natural, sin cultivar.
- Existe una redistribución y subsecuente pérdida de suelo, con pérdidas preferenciales de las partículas más finas ricas en Materia Orgánica lábil debido a los procesos de erosión provocados por el agua, al aire y el laboreo.

Uno de los problemas de degradación de nuestros suelos es la compactación producida entre otros aspectos por un excesivo laboreo y uso de implementos inadecuados como el arado de discos. Estas prácticas además, tienen un alto costo energético y hacen disminuir el contenido de Materia Orgánica del suelo. Actualmente se ha logrado un incremento considerable del uso de la tracción animal en las labores agrícolas, utilizando bueyes, así como usando implementos que no inviertan el prisma del suelo, como es el multiarado.

## **2.5 La agricultura orgánica hacia un desarrollo sostenible**

De acuerdo a la FAO (2003) el término agricultura orgánica tiene varios sinónimos: ecológica, biológica, etc. según los idiomas. Los principios de la agricultura orgánica están en armonía con los principios de la agricultura biodinámica y la permacultura. Se puede definir la agricultura orgánica como un proceso que utiliza métodos que respetan el ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento. La producción orgánica no solo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se usa para producir y entregar el producto al consumidor final

(FAO 2003).

Las Normas Básicas de la Federación Internacional del Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) del 2002, define la agricultura orgánica como "un enfoque integral basado en un conjunto de procesos que resulta en un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social. La producción orgánica es, por lo tanto, mucho más que un sistema de producción que incluye o excluye un determinado insumo" (FAO 2003).

De acuerdo con el *Codex Alimentarius*, "la agricultura orgánica se basa en un sistema de manejo holístico de la producción que promueve y mejora la salud del ecosistema, incluyendo los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo" (FAO 2003). Lo característico de la agricultura orgánica, es que se basa en el uso mínimo de insumos externos, evita los fertilizantes y plaguicidas sintéticos, y se utilizan métodos para reducir al mínimo la contaminación del aire, suelo y el agua. Éste sistema de producción no permite las prácticas de irradiación de los cultivos y el uso de ingeniería genética en el mejoramiento genético de plantas y animales (Sosa *et al.* 2004).

Aunque el término prácticas manejo agroecológico del suelo es de reciente introducción en Cuba (1992), estas se conocen empíricamente por muchos de nuestros campesinos. En muchas fincas se usaban o usa la incorporación de residuos, la rotación de los cultivos, los policultivos, la aplicación de abonos orgánicos, la integración de animales y cultivos, la biodiversidad funcional, entre otras. Sin embargo otros productores y profesionales todavía consideran como paradigma la agricultura de la Revolución Verde.

La conservación y mejoramiento del recurso suelo y el menor uso posible de insumos externos son fundamentales para los sistemas orgánicos. En términos generales, los rendimientos de estos sistemas podrían ser entre 10 y 50 % menores que los del sistema convencional o sistema integrado (Sosa *et al.* (2004) citado por Clavelo, (2008)), pero es generalmente aceptado que la producción es más sostenible (sostenibilidad en este sentido se refiere a la perdurabilidad del sistema de producción a través del tiempo, con menos efectos negativos posibles sobre el ambiente natural); además, el sobreprecio ofrecido para el producto final es considerado suficiente para mitigar la pérdida de rendimiento (George, 2006).

La fertilidad natural del suelo se define como la capacidad de sostener a la planta e influir en su rendimiento (Kolmans *et al.*, 1999). La productividad el resultado de la interacción suelo - clima - forma de agricultura.

El conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo solubilizan los nutrientes necesarios para las plantas. Estas necesitan un suelo fértil desarrollarse y este a su vez de ellas para mantener su fertilidad natural.

## **2.6 Evaluación de la Sostenibilidad Agraria**

### **2.6.1 Los indicadores como instrumento 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 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 (Masera *et al.*, (1999) citado por Colás, (2007)



## **2.6.2 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.

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)

## 2.7 Calidad de suelo

El sistema suelo está constituido por tres fases; sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida es dominante y consiste en partículas de diferentes tamaños rodeadas por agua y gases, cuyas cantidades y composición fluctúan en el espacio y en el tiempo. Según Doran *et al.* (1996) hay un intercambio continuo de moléculas e iones entre las tres fases, mediados por procesos físicos, químicos y biológicos. El balance dinámico de estos procesos es fundamental para mantener la salud y calidad del suelo.

La calidad de suelo es un concepto que está por encima del concepto de fertilidad y productividad del suelo, aunque un concepto acabado del mismo aún se discute (Cairo, 2010).

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

El más aceptado actualmente es: la capacidad de determinado tipo de suelo para funcionar dentro de las fronteras del ecosistema natural o modificado, para sostener la productividad de las plantas y animales, mantener y mejorar la calidad del aire y el agua así como sostener el hábitat, la vida y la salud humana (Doran *et al.*, (1996); Larson y Pierce, (1994) citado por Colás, (2007) y Karlen *et al.*, (1997)).

Andrews *et al.*, (2002), plantean que la calidad del suelo es vista como un componente importante de la sostenibilidad del agroecosistema. 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).

El término salud del suelo es usado a menudo para describir aquellos aspectos de la calidad que reflejan la condición del mismo, expresada como el manejo de las



propiedades sensibles (Islam *et al.*, 2000). Lewasowski *et al.*, (1999), plantean que la salud del suelo no es solo su carencia de degradación o contaminación, sino también su aptitud global para llevar acabo las funciones del ecosistema y responder al estrés medioambiental.

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). 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. 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.

No existen métodos y herramientas aceptados universalmente para la evaluación de la calidad del suelo, aunque se puede señalar que entre las herramientas más promisorias disponibles esta el Soil Management Assessment Framework (SMAF) que se desarrolló y usó como un índice calidad del suelo los EE.UU. Este marco diseñado para seguir tres pasos básicos la selección del indicador, interpretación del indicador, e integración de los valores del indicador en un índice (Andrews *et al.*, 2002).

En un suelo de buena calidad se deben obtener cultivos sanos y de alto rendimientos, con un mínimo de impactos negativos sobre el medio ambiente. Es un suelo que también brinda propiedades estables al crecimiento y salud de los cultivos, haciendo

frente a condiciones variables de origen humano y natural, principalmente las relacionadas con el clima, es decir, debe ser un suelo flexible y resistir el deterioro (Ascanio, 2004).

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 (Astier, 2002).

Se necesitan 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.

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).

Las prácticas de manejo del suelo como son el laboreo (Cairo *et al.*, (2002) y Davidson, (1986) citado por Díaz, (2005), la fertilización (Barak *et al.*, (1997), la eliminación de la vegetación (Meyer *et al.*, (1996), Moyo *et al.*, (1998) y Díaz *et al.*, (2003)), el manejo del agua (Hillel, (1998) y Plagjai *et al.*, (2004)), la rotación de cultivos, cultivos de cobertura y el encalado pueden afectar significativamente la calidad del suelo.

### **2.7.1 Indicadores de la calidad de 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. Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él SQI, (1996). Existen diferentes criterios sobre los indicadores, Dumanski *et al.*, (1998) plantean que deben ser los mismos en todos los casos, con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Astier *et al.*, (2002) difieren en criterio, sosteniendo 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.

Goodland y Daly, (1996) y Hünneimyer *et al.*, (1997) reconocen como elementos 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. Con el transcurso del tiempo, los tres objetivos deberían ir acercándose a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes (Ayes, 2006).

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. Apezteguia *et al.*, (2001) y Karlen *et al.*,

1997) plantean que la Materia Orgánica del suelo representa la clave de la fertilidad del mismo y probablemente la propiedad que por si sola expresa la calidad de suelo.

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.

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. 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).

Los indicadores de calidad del suelo se refieren a atributos medibles que influyen en la capacidad del suelo para realizar la producción de los cultivos o las funciones medio ambientales. Son muy deseables como indicadores de la calidad del suelo aquellos atributos que son muy sensibles al manejo. Un número mínimo de indicadores (conjunto mínimo de datos (CMD)) es necesario que se mida para evaluar los cambios en calidad del suelo como resultado de diferentes sistemas de manejo. (Arshad y Martin, 2002). Karlen *et al.*, (1997) plantean que los indicadores de la calidad del suelo se encuentran estrechamente relacionados con aquellos procesos a los que afecta.

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).

Para estabilizar el desarrollo sostenible en la producción agrícola es necesario seleccionar propiedades del suelo bajo diferentes condiciones edafoclimáticas que se manifiestan como propiedades indicadoras de su calidad, capaces de dar criterios sobre la sostenibilidad del recurso suelo. La calidad del suelo lleva implícito el diagnóstico de la degradación del suelo y las técnicas de su control; utilizando aquellas propiedades que sean más sensibles a los cambios.

### **2.7.2 Condiciones que debe cumplir los indicadores de la calidad de suelo**

Según Doran y Parkin, (1994) para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad (sostenibilidad) deben reunir una serie de requisitos:

- Describir los procesos del ecosistema.
- Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas.
- Reflejar los atributos de la sostenibilidad que se quieren medir.
- Ser sensitivos a variaciones de clima y manejo.
- Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- Ser reproducibles.
- Ser fáciles de entender.
- Ser sensitivos a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- Ser componentes de una base de datos de suelo existente, cuando sea posible

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. Para ello establece que los indicadores deberían permitir:

- Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible.
- Analizar los posibles impactos antes de una intervención.
- Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas.
- Ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

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).

### 2.7.3 Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son también un indicador de fertilidad del mismo.

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

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.

Para evaluar la calidad del suelo es importante desarrollar indicadores de sus condiciones físicas relacionadas con el rendimiento de los cultivos (Forsythe y Schweizer, 2001).

Karlen *et al.*, (1997) plantean que la infiltración es un indicador físico de la calidad del suelo y afecta varios procesos en él como son el potencial de escurrimiento y lixiviación, la eficiencia del uso del agua por las plantas y el potencial de erosión; la agregación como indicador afecta a la estructura del suelo, la resistencia a la erosión, la emergencia de los cultivos y la infiltración. La densidad aparente es otra propiedad indicadora de la calidad y limita la penetración de las raíces de las plantas, el llenado de aire y agua del espacio poroso y la actividad biológica. La profundidad del manto freático afecta al volumen de enraizamiento para la producción del cultivo, disponibilidad de agua y nutrientes.

Chen, (2000) citado en Miliarium Aureum, (2004) plantea que los indicadores físicos de la calidad del suelo se relacionan con las funciones y condiciones del suelo: la textura (% (arena, limo y arcilla)) influye en la retención y transporte de agua y minerales así como en la erosión del suelo. La profundidad (suelo superficial (cm) y raíces (m)) afecta la estimación del potencial productivo y de erosión. La infiltración y densidad aparente

( $\text{gcm}^{-3}$ ) se relaciona con la función de lixiviación, productividad y erosión. La capacidad de retención de agua ( $\text{mmh}^{-1}$ ) es un indicador que puede limitar el contenido en humedad, transporte, erosión, humedad aprovechable, textura y Materia Orgánica. La estabilidad de los agregados (%) afecta la erosión potencial de un suelo y la infiltración de agua.

Font *et al.*, (2004) propone como indicadores físicos la textura, contenido de agua, profundidad del suelo, superficial y de las raíces, capacidad de retención de agua, infiltración, densidad aparente.

#### **2.7.4 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.

Karlen *et al.*, (1997) plantean que la Materia Orgánica es un indicador químico de la calidad del suelo y afecta varios procesos en él como son el ciclo de nutrientes, los pesticidas, la retención del agua y la estructura del suelo; el pH como indicador afecta a la Disponibilidad de nutrientes, movilidad y absorción de pesticidas. Las formas de Nitrógeno es otra propiedad indicadora de la calidad y limita la disponibilidad para los cultivos, potencial de lixiviación, razones de inmovilización y la mineralización. La conductividad eléctrica afecta la infiltración de agua, el crecimiento de los cultivos y la estructura del suelo. Los nutrientes disponibles como indicador de calidad química del suelo limitan la capacidad para el sustento del crecimiento vegetal y trae riesgos ambientales.

Según Chen, (2000) citado en Miliarium Aureum, (2004) los indicadores químicos de la calidad del suelo se relacionan con las funciones y condiciones del suelo: el contenido en Materia Orgánica ( $\text{kg (C ó N) ha}^{-1}$ ) afecta la fertilidad del suelo, estabilidad, grado de erosión y potencial productivo. El pH (comparación entre los límites superiores e

inferiores para la actividad vegetal y microbiana) limita la actividad química y biológica del suelo. La conductividad eléctrica ( $\text{dSm}^{-1}$ ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana) es un indicador relacionado con la actividad microbiológica y crecimiento de plantas. El N, P, K extraíbles ( $\text{kg ha}^{-1}$ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos) afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, los indicadores de productividad y la calidad ambiental. La capacidad de intercambio catiónico ( $\text{mol kg}^{-1}$ ) reduce la fertilidad del suelo y el potencial productivo. Los metales pesados disponibles (concentraciones máximas en agua de riego) generan niveles tóxicos para el crecimiento de las plantas y la calidad del cultivo.

Font *et al.*, 2004 propone como indicadores químicos a la conductividad eléctrica, pH, extracción de N, P y K.

### 2.7.5 Indicadores biológicos

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).

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) y Karlen *et al.*, (1997)). Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación C microbiano: C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la Materia Orgánica (Sparling, 1997).

Karlen *et al.*, (1997) plantean que algunos indicadores químicos de calidad de suelo también se pueden analizar como indicadores biológicos de la misma, tal es el caso de

la Materia Orgánica, las formas de Nitrógeno y los nutrientes disponibles. La masa microbiana afecta la actividad biológica, el ciclo de los nutrientes y la capacidad de degradar pesticidas.

Según (Chen, 2000) citado en Miliarium Aureum, (2004) los indicadores biológicos de la calidad del suelo se relacionan con las funciones y condiciones del suelo: el contenido de biomasa microbiana ( $\text{kg (C ó N)ha}^{-1}$  relativo al C, N total o al  $\text{CO}_2$  producido) se relaciona con el potencial catalizador microbiano y la reposición de C y N. El Nitrógeno mineralizable ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$  relativo al C, N total) afecta la productividad del suelo y el aporte potencial de N. La aireación, contenido en agua, temperatura ( $\text{kg C}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$  relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entradas al reservorio total de C) limita la medición de la actividad microbiológica. El contenido de lombrices (número de lombrices) representa la actividad microbiana. El rendimiento del cultivo ( $\text{kg producto}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) es una función de la producción potencial del cultivo y la disponibilidad de nutrientes.

Font *et al.*, 2004 propone como indicadores biológicos a la Materia Orgánica del suelo, la biomasa microbiana, C y N, N potencialmente mineralizable y la respiración del suelo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El trabajo se desarrolló en áreas cañeras de la costa norte de la provincia de Villa Clara en los municipios de Sagua La Grande y Encrucijada (Anexo 1).

Los datos climáticos del periodo en que se desarrollaron los experimentos aparecen en el Anexo 2. Todos estos datos fueron obtenidos de la Estación Agrometeorológica ubicada en el municipio Sagua la Grande.

La mayor parte del área de estudio está representada por suelos Hidromórficos, dentro de ellos predominan los Gley Vérticos y Gley Húmicos (Hernández *et al.*, 1999) y (Hernández *et al.*, 2006). (Tabla 1 y Anexo 3).

**Tabla 1.** Correlación de la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999) con otras clasificaciones (Hernández *et al.*, 2005)

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>Gley Vértico</b>	<b>Gley Húmico</b>
<b>NORTEAMERICANA</b>	Orden Vertisol,	Orden Vertisol,
<b>SOIL TAXONOMY</b>	Suborden Aquert,	Suborden Aquert (Entisoles),
<b>(SOIL SURVEY</b>	Tipo Endoaquert,	Tipo Fluvaquents,
<b>STAFF, 2003)</b>	Subtipo Typic Endoaquert.	Subtipo Typic Fluvaquent.
<b>LEYENDA REVISADA</b>	Grupo Gleysoles,	Grupo Gleysoles,
<b>FAO-UNESCO (1988)</b>	Gleysol Vértico.	Gleysol mólico.
<b>WORLD REFERENCE</b>	Gleysoles.	Gleysoles,
<b>BASE (WRB)</b>		Gleysol Húmico.
<b>SEGUNDA</b>	Oscuro Plástico Gleyzado.	Gley Húmico.
<b>CLASIFICACIÓN</b>		
<b>GENÉTICA DE LOS</b>		
<b>SUELOS DE CUBA</b>		
<b>(INSTITUTO DE</b>		
<b>SUELOS, 1975)</b>		

Los suelos Gley Vérticos se desarrollan en relieves llanos más bien bajos muy cercanos a las costas o valles fluviales donde predominan condiciones hidromórficas por la presencia de un manto freático cercano a la superficie (1 a 3m de profundidad). Estas condiciones hidromórficas se manifiestan por la presencia de propiedades gleyícas a menos de 50cm de profundidad, acompañadas de características vérticas. Los perfiles que se desarrollan son de tipo AgvG ó Agv(B), AgvG. Su textura es arcillosa en todo su espesor con contenido de arcilla mayor de 40 %. La estructura es en bloques prismática (grandes o mediano) a masivo, en estado húmedo es plástico y en estado seco es duro, se agrieta. Tiene una limitada profundidad de la capa arable (inferior a los 30cm de profundidad). El complejo absorbente no está saturado hasta el 100%, los valores oscilan entre 72 – 42%, en algunos casos predomina el Calcio sobre el Magnesio, en otros ocurre lo contrario. Tiene alta fertilidad potencial, la cual está afectada en cierta medida por el pH bajo y también bajos niveles de Materia Orgánica, la cual influye sobre el Fósforo asimilable, por otro lado el Potasio asimilables es bajo. Presenta una baja densidad aparente y alta porosidad en todo el perfil. Predominan los poros finos que provocan una mala relación agua – aire, limitando la absorción de nutrientes y la aeración (Hernández *et al.*, 2006).

Los suelos Gley Húmicos se desarrollan en relieves llanos más bien bajos muy cercanos a las costas o valles fluviales donde predominan condiciones hidromórficas por la presencia de un manto freático cercano a la superficie. Estas condiciones hidromórficas se manifiestan por la presencia de propiedades gleyícas a menos de 50cm de profundidad, acompañadas de un horizonte húmico, pero sin tener características vérticas. Tiene una limitada profundidad de la capa arable (primer perfil inferior a los 30cm de profundidad de tipo AhgG) y malas condiciones de drenaje interno y externo y deficiente permeabilidad por el contenido de arcillas (Hernández *et al.*, 2006).

### 3.2 Experimentos desarrollados

Este trabajo se desarrolló con las bases de datos de experimentos de campo montados en diferentes etapas hasta los momentos actuales. Se desarrollaron 4 experimentos, de ellos 3 en condiciones experimentales de campo y uno en condiciones de producción.

#### ***Experimento 1***

Este estudio se realizó en la Estación Experimental de la Caña de Azúcar “Jesús Menéndez” de Sagua La Grande, provincia Villa Clara, sobre un suelo Hidromórfico, tipo Gley Húmico. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- Control sin fertilización (T)
- 50 tha<sup>-1</sup> cachaza (Ca 50 tha<sup>-1</sup>)
- 100 tha<sup>-1</sup> cachaza (Ca 100 tha<sup>-1</sup>)
- 150 tha<sup>-1</sup> cachaza (Ca 150 tha<sup>-1</sup>)
- 200 tha<sup>-1</sup> cachaza (Ca 200 tha<sup>-1</sup>)

La variedad de caña de azúcar que se utilizó fue la Ja 60-5. La cachaza se aplicó de forma descompuesta al suelo, mezclándose completamente con la capa arable durante la preparación del mismo en el primer horizonte. Se plantó el cultivo a los 20 días de su incorporación. El experimento se realizó en un área total de 2 492.4m<sup>2</sup> (0.25ha) con 5 tratamientos y 4 réplicas a una distancia entre las mismas de 2.0m. El diseño experimental fue de bloques en franjas, empleando parcelas de 10m x 9.6m (6 surcos de 1.6 m de camellón) de largo y ancho respectivamente, para un área de parcela de 96m<sup>2</sup>. La distancia de siembra empleada fue 1.60m x surco corrido (10 yemas por metro). Se dejaron 2 surcos (3.2m) para eliminar el efecto de borde, para un total de 6 surcos por parcelas.

## **Experimento 2**

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental de la Caña de Azúcar “Jesús Menéndez”.

Los tratamientos aplicados fueron los que siguen:

- Control sin fertilización (T)
- NPK 100 – 60 – 200  $\text{kg ha}^{-1}$  (NPK)
- 2  $\text{tha}^{-1}$  dolomita (Dol 2  $\text{tha}^{-1}$ )
- 4  $\text{tha}^{-1}$  dolomita (Dol 4  $\text{tha}^{-1}$ )
- 6  $\text{tha}^{-1}$  dolomita (Dol 6  $\text{tha}^{-1}$ )
- 4  $\text{tha}^{-1}$  dolomita + 60  $\text{kg ha}^{-1}$  P (Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + P)
- 4  $\text{tha}^{-1}$  dolomita + 100 – 60  $\text{kg ha}^{-1}$  NP (Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + NP)
- 4  $\text{tha}^{-1}$  dolomita + NPK 100 – 60 – 200  $\text{kg ha}^{-1}$  (Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + NPK)
- 4  $\text{tha}^{-1}$  dolomita + 15  $\text{tha}^{-1}$  cachaza (Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 15  $\text{tha}^{-1}$ )
- 4  $\text{tha}^{-1}$  dolomita + 4  $\text{tha}^{-1}$  compost (Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + Co 4  $\text{tha}^{-1}$ )

La variedad de caña de azúcar que se utilizó fue la Cuba 323-68. La dolomita se aplicó al suelo en bandas sobre el surco, al igual que los demás mejoradores. El experimento se realizó en un área total de 2 726  $\text{m}^2$  (0.27 ha) con 10 tratamientos y 4 réplicas a una distancia entre las mismas de 4.0m. El diseño experimental fue de bloques al azar en franjas, empleando parcelas de 7.5m x 6.4m de largo y ancho respectivamente. La distancia de siembra empleada fue 1.60m x surco corrido (10 yemas por metro). Se dejaron 2 surcos (3.2m) para eliminar el efecto de borde, para un total de 6 surcos por parcelas.

### **Experimento 3**

Este experimento se realizó en un cuarto retoño de la variedad Ja 60 - 5 en el Bloque 110, Campo 1 del antiguo CAI “Emilio Cordova”, perteneciente a Encrucijada, provincia Villa Clara, sobre un suelo Hidromórfico, tipo Gley Vértico.

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- Control sin fertilización (T)
- Compost 1  $\text{tha}^{-1}$  enterrado (Co 1  $\text{tha}^{-1}$  e)
- Compost 2  $\text{tha}^{-1}$  enterrado (Co 2  $\text{tha}^{-1}$  e)
- Compost 3  $\text{tha}^{-1}$  enterrado (Co 3  $\text{tha}^{-1}$  e)
- Compost 4  $\text{tha}^{-1}$  enterrado (Co 4  $\text{tha}^{-1}$  e)
- Compost 5  $\text{tha}^{-1}$  enterrado (Co 5  $\text{tha}^{-1}$  e)
- Compost 1  $\text{tha}^{-1}$  superficial (Co 1  $\text{tha}^{-1}$  s)
- Compost 2  $\text{tha}^{-1}$  superficial (Co 2  $\text{tha}^{-1}$  s)
- Compost 3  $\text{tha}^{-1}$  superficial (Co 3  $\text{tha}^{-1}$  s)
- Compost 4  $\text{tha}^{-1}$  superficial (Co 4  $\text{tha}^{-1}$  s)
- Compost 5  $\text{tha}^{-1}$  superficial (Co 5  $\text{tha}^{-1}$  s)

Los diferentes niveles de compost se aplicaron en bandas sobre el camellón de forma superficial y en los casos que se aplicó en un pequeño surco que se tapó posteriormente. El experimento se realizó en un área total de  $19\,200\text{m}^2$  (19.2ha) con 11 tratamientos y 5 réplicas a una distancia entre las mismas de 2.0m. El diseño experimental fue de bloques en franjas, empleando parcelas de 20m x 16m (10 surcos de 1.6 m de camellón) de largo y ancho respectivamente, para un área de parcela de  $320\text{m}^2$ . La distancia de siembra empleada fue 1.60m x surco corrido (10 yemas por metro). Se dejaron 2 surcos (3.2m) para eliminar el efecto de borde, para un total de 6 surcos por parcelas. El largo del experimento fue de 100m y constó de 55 parcelas experimentales.

## Experimento 4

Este estudio se realizó en la Estación Experimental de la Caña de Azúcar “Jesús Menéndez”.

Los tratamientos aplicados fueron los que siguen:

- Control sin fertilización (T)
- Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  (Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$ )
- Zeolita 15  $\text{tha}^{-1}$  (Z 15  $\text{tha}^{-1}$ )
- Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + 100  $\text{kgha}^{-1}$  Nitrógeno (Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + 100 N)
- Zeolita 15  $\text{tha}^{-1}$  + 100  $\text{kgha}^{-1}$  Nitrógeno (Z 15  $\text{tha}^{-1}$  + 100 N)
- Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 22.5  $\text{tha}^{-1}$  [30 $\text{tha}^{-1}$  proporción 3:1] (Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 22.5  $\text{tha}^{-1}$  (30 :3:1))
- Zeolita 3  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 18  $\text{tha}^{-1}$  [21 $\text{tha}^{-1}$  proporción 6:1] (Z 3  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 18  $\text{tha}^{-1}$  (21: 6:1))
- Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + NPK 100-60-200  $\text{kgha}^{-1}$  (Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + NPK)
- Zeolita 15  $\text{tha}^{-1}$  + NPK 100-60-200  $\text{kgha}^{-1}$  (Z 15  $\text{tha}^{-1}$  + NPK)

La variedad de caña de azúcar utilizada fue Cuba 120 – 78. Los diferentes niveles de zeolita se aplicaron en bandas sobre el camellón de forma superficial. El experimento se realizó en un área total de 3 788 $\text{m}^2$  (3.79ha) con 9 tratamientos y 5 réplicas a una distancia entre las mismas de 2.0m. El diseño experimental fue bloques al azar, empleando parcelas de 7.5m x 9.6m (10 surcos de 1.6 m de camellón) de largo y ancho respectivamente, para un área de parcela de 72 $\text{m}^2$ . La distancia de siembra empleada fue 1.60m x surco corrido (10 yemas por metro) en bancos. Se dejaron 2 surcos (3.2m) para eliminar el efecto de borde, para un total de 6 surcos por parcelas. El área de parcela cosechable fue de 48 $\text{m}^2$ .

**Tabla 2.** Composición química de los materiales utilizados.

	<b>Abonos orgánicos</b>		<b>Minerales naturales</b>		
	<b>Cachaza</b>	<b>Compost</b>	<b>Dolomita</b>	<b>Zeolita</b>	
<b>% N</b>	2.85	2.40	<b>% SiO<sub>2</sub></b>	0.26	63.00
<b>% P</b>	1.71	0.23	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.20	11.57
<b>% K</b>	0.91	0.51	<b>% F<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.04	0.81
<b>% Ca</b>	1	-	<b>% MgO</b>	17.92	0.92
<b>% Mg</b>	0.5	-	<b>% CaO</b>	34.24	-
<b>% MO</b>	43	30.2	<b>% TiO<sub>2</sub></b>	-	0.45
<b>% C</b>	-	17.5	<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-	1.87
<b>C/N</b>	8.75	9.2	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	-	2.39
<b>AH/AF</b>	-	2.40	<b>% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	-	0.09
<b>% Humedad</b>	-	58.2	<b>% Humedad</b>	-	3.44

### 3.3 Descripción del muestreo del suelo

A los 20 meses se realizó el muestreo de suelo en cada uno de los experimentos, tomándose muestras representativas a la profundidad de 0 a 20 cm en el segundo surco para todas las réplicas a una distancia de 20 cm del surco. En el experimento en condiciones de producción se realizó a los 12 meses, previo a la cosecha del cultivo.

### 3.4 Análisis químico del suelo.

Las determinaciones químicas se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) por los siguientes métodos:

- **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O:** Por el método de Oniani. Solución extractiva de ácido sulfúrico (0.1N). El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se determinó colorimétricamente y el K<sub>2</sub>O por fotometría de llama.
- **Materia Orgánica:** Método colorimétrico de Warkley y Black. Oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

- **pH (H<sub>2</sub>O) y pH (KCL):** Mediante el potenciómetro. Relación suelo: Solución 1: 2.5

Todos los análisis químicos se realizaron según la Norma Ramal 279 del MINAGRI (NRAG 279, 1980)

### 3.5 Análisis físico del suelo

Las determinaciones físicas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) utilizando los siguientes métodos:

- **Permeabilidad:** Se determinó según Henin et al. (1958) citado por Cairo y Fundora (2005), donde se calcula el log del coeficiente K para cada muestra

utilizando un infiltrómetro según la fórmula:

$$K = \frac{e \cdot V}{H \cdot S}$$

Donde:

K - Coeficiente de percolación

e - Altura de la columna de suelo

V - Volumen en ml de agua percolada en una hora

H - Altura de la columna líquida o lámina de agua

S - Área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar

- **Factor de Estructura (FE):** A través de la determinación de arcilla sin dispersar (b) y arcilla previamente dispersada, de acuerdo con el análisis mecánico (a) según la fórmula de Vageler y Alten (1931) citado por Cairo (2003).

$$FE = \frac{a - b}{a \cdot 100}$$

- **Agregados estables en agua.** Se determinó mediante el método de Henin et al., (1958) citado por Cairo y Fundora (2005).
- **Límite Inferior de Plasticidad:** 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 3mm cuando este se divide con roturas irregulares. Se expresa en % de Humedad en base a suelo seco (% hbss.).

### **3.6 Evaluación del rendimiento agrícola e industrial de la Caña de Azúcar**

Para la determinación del rendimiento agrícola e industrial (Caña  $\text{tha}^{-1}$  y Pol  $\text{tha}^{-1}$ ) se cosecharon los surcos centrales de cada parcela. Para el rendimiento agrícola se contó el número total de tallos molibles por parcela, luego se tomaron 5 tallos molibles de cada parcela y se pesaron, finalmente con estos datos se calculó las  $\text{tha}^{-1}$  Caña. En el caso del rendimiento industrial se calculó a partir de la determinación del 5 de Pol en caña y se expresó en  $\text{tha}^{-1}$  Pol.

### **3.7 Índice de la calidad del suelo**

#### **3.7.1 Metodología para la obtención de los Indicadores de Calidad**

Para la evaluación de la calidad del suelo se utilizó la metodología propuesta por Díaz y Morales, (2003) y Reyes, (2006); aplicada por otros autores como Colás, 2007 y Gattorno, 2008.

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

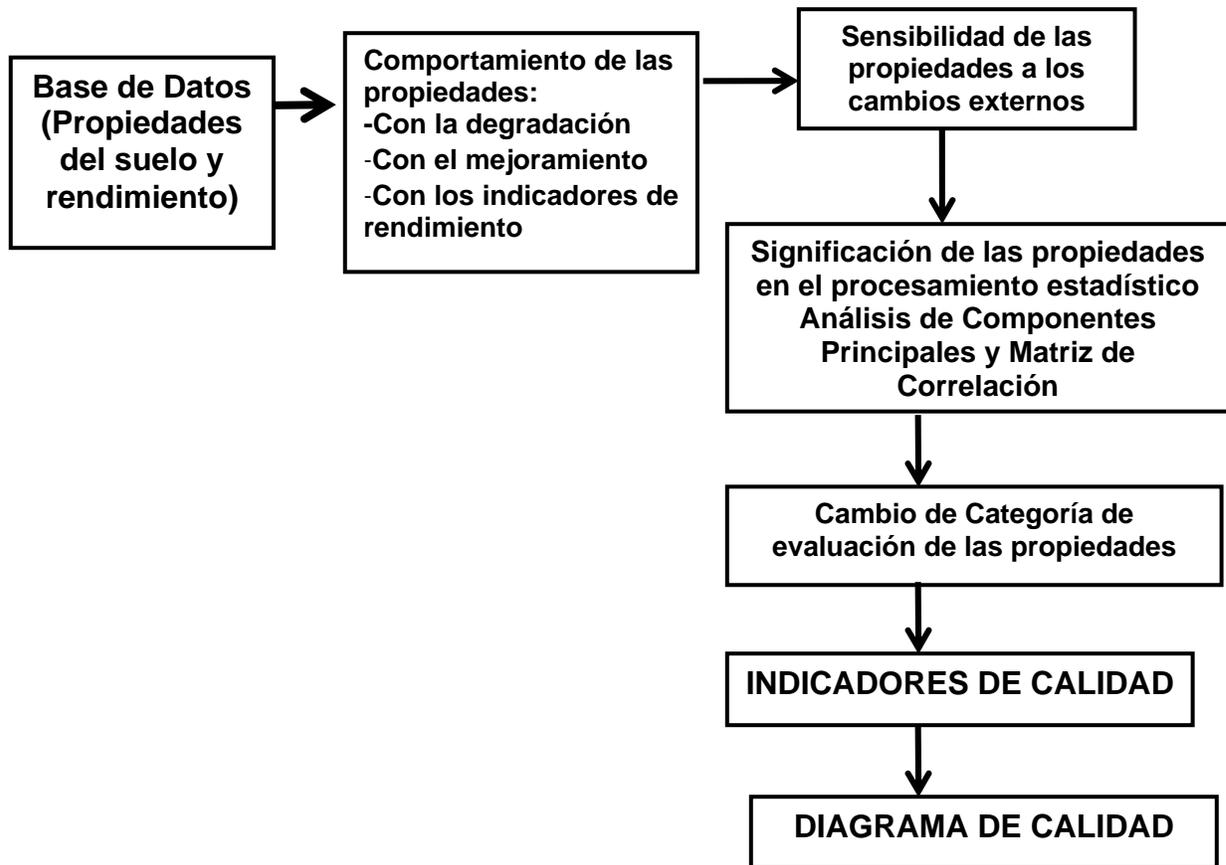


Figura 1. Metodología para la obtención de los indicadores de calidad propuesta por Morales y Díaz, (2003); Reyes, (2006).

Este procedimiento incluye:

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

En este aspecto se tuvieron en cuenta los criterios de López *et al.*, (1981) para la evaluación de la Materia Orgánica y para la evaluación de las propiedades físicas los criterios de Cairo, (2006). (Ver Anexo 4).

#### **Indicadores y diagrama de calidad.**

Todo este análisis permitió seleccionar varias propiedades de suelo como indicadores de la calidad del mismo. Estas se integran en el diagrama de calidad propuesto, para evaluar las tendencias a la degradación o el mejoramiento de las diferentes alternativas aplicadas al suelo. 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 suelo las enmiendas.

### 3.7.2 Índice de calidad de suelo aditivo

El índice de calidad de suelo usado en la presente investigación se basa en el trabajo de Andrews et al. (2002). Para obtener el índice de calidad de suelo, las observaciones de cada variable fueron transformadas a una escala de 0-1. Las variables indicadores fueron agrupadas en forma ascendente o descendente de acuerdo al efecto que el valor alto de un índice puede tener sobre la función del suelo. Si el efecto fue considerado "bueno", entonces se agruparon las variables en "mayor es mejor" y si el efecto fue considerado "malo", entonces se agruparon en "menor es mejor". Para los valores de las variables consideradas como "mayor es mejor", cada observación fue dividida por el valor más alto observado de tal manera que el valor del índice más alto observado fue 1.0. Para las variables consideradas como "menor es mejor", el valor más bajo (numerador) observado fue dividido por cada observación, (denominador) de tal modo que el valor más bajo recibió el puntaje de 1.0. El índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) fue la sumatoria de las puntuaciones de las variables. Se asumió que una puntuación alta significaba una mejor calidad de suelo.

### 3.8 Validación del diagrama de calidad propuesto

En la validación del diagrama para el suelo Hidromórfico se seleccionaron 3 campos de producción con diferentes sistemas de manejos típicos, 2 en áreas pertenecientes a la Estación Experimental de la Caña de Azúcar "Jesús Menéndez" (Área con laboreo tradicional y quema de residuos, Área con laboreo localizado y aplicación de compost) y 1 en el antiguo CAI "Emilio Cordova" (Área de ganadería antecedida por Caña de Azúcar 30 años). Estos resultados se obtuvieron mediante el recorrido y entrevista con los pobladores y trabajadores de las zonas estudiadas. Para el diagnóstico del estado de calidad de los suelos se dividieron las áreas en 4 Zonas y se tomaron dentro de las mismas 5 réplicas representativas del suelo (5 por zona) a la profundidad de 0 – 20cm, las mismas fueron preparadas para realizar el análisis correspondiente teniendo en cuenta los indicadores de calidad seleccionados.

### **3.9 Procesamiento estadístico**

A partir de los resultados de los experimentos realizados, se construyó una base de datos fundamental para establecer las relaciones entre las propiedades. Para el procesamiento estadístico se utilizaron los paquetes SPSS ver. 13.0 y Statgrafics ver. 5.1 sobre Windows XP. Se aplicó Anova de clasificación simple con la prueba de comparación de medias Turkey HSD en los casos donde hubo homogeneidad de varianza. Se realizó el análisis de componentes principales así como una matriz de correlación entre las variables analizadas con el objetivo de discriminar aquellas que no tenían un alto porcentaje de correlación con el resto. También se establecieron análisis de regresión, para determinar la relación existente entre las propiedades y el grado de dependencia entre ellas, escogiéndose las ecuaciones de regresión que mejor ajuste dieron. Se establecieron relaciones entre las propiedades físicas y químicas del suelo, entre estas con el rendimiento.

### **3.10 Evaluación económica**

Se realizó una evaluación económica de los resultados según Zumaquero, (2008) utilizando para ello las fórmulas:

- Valor Incrementado (USD) = Incremento Pol \* Precio de venta (USD)
- Ganancia (USD) = Valor Incrementado (USD) - Costo total

## 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 con niveles de compost enterrado y superficial (Tabla 3), se evidencia incrementos de más de 2 % respecto al control sin fertilización. En este indicador se logra un cambio cualitativo y cuantitativo importante cuando se aplica  $5 \text{ tha}^{-1}$  de compost enterrado, llegando a estar en la categoría mediano en relación a muy bajo en el control, coincidiendo también con los mejores valores en las propiedades físicas estudiadas. Los Agregados Estables al agua y la Permeabilidad alcanzan la categoría de excelente y el Factor de Estructura la de bueno. Piccolo *et al.*, (1997) citado por Giner, (2004) y Vicente, (2003) plantean que la Materia Orgánica tiene efectos sobre las propiedades físicas como son la agregación de las partículas, favorece la estabilidad y la estructura física del suelo, en fin el mejoramiento estructural del suelo.

Cuando se aplican niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos (Tabla 4), el % de Materia Orgánica en el Control es bajo y llega hasta mediano en  $7.5 \text{ tha}^{-1}$  de zeolita más  $22.5 \text{ tha}^{-1}$  de cachaza, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos donde se incluye la zeolita sola o combinada y el control sin fertilización. Las propiedades físicas muestran los mejores valores respecto al control en aquellos tratamientos donde está presente la zeolita ya sea sola o combinada, alcanzando los mayores en los que se combina con abonos orgánicos. La Permeabilidad cambia de categoría de adecuada a excelente, mientras que los Agregados Estables llegan a ser Excelente y el Factor de Estructura bueno. Rodríguez (1999) citado por Colás (2007) aplicó a un suelo Oscuro Plástico diferentes fuentes minerales entre ellas la zeolita en condiciones controladas y demostró que puede mejorar las propiedades del suelo tanto físicas como químicas, además de aumentar el contenido de Materia Orgánica, el Fósforo asimilable y el pH del suelo.

Es importante señalar que los incrementos en el contenido de Materia Orgánica de los suelos objeto de estudio, provocan cambios sustanciales en el estado estructural del mismo, incluso cuando no llegan a ser excelentes las propiedades físicas, esto pone de manifiesto el efecto de la Materia Orgánica sobre la estructura. Esto coincide con

Besnard *et al.*, (1996) y Le Bissonnais, (1996) citados por Rodríguez, (2006) que plantean que los cambios producidos en la estabilidad de la estructura pueden ocurrir en respuesta a cambios operados en el uso y manejo de los suelos y como producto de variaciones significativas que se observan en el contenido total de Materia Orgánica del suelo. Según Cairo (2009) la mejor expresión de la capacidad del suelo para funcionar es la estructura y los agregados estables. Cairo *et al.* (2000), al hacer un resumen sobre el efecto de diferentes abonos orgánicos y minerales señala el efecto mejorador del compost y la zeolita sobre el estado estructural del suelo.

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

Tratamientos	MO (%)	AE (%)	FE (%)	PERM (log 10k)	LIP (%hbss)
T	1.83 f	51.49 d	54.15 f	1.75 c	31.12 c
Co 1 tha <sup>-1</sup> e	2.3 ef	64.66 c	59.87 de	2.03 b	35.50 bc
Co 2 tha <sup>-1</sup> e	3.36 bc	65.21 c	63.19 bcd	2.22 ab	35.32 bc
Co 3 tha <sup>-1</sup> e	3.86 ab	67.04 bc	66.19 ab	2.14 ab	35.68 bc
Co 4 tha <sup>-1</sup> e	3.78 ab	68.80 bc	67.35 a	2.23 a	37.56 b
Co 5 tha <sup>-1</sup> e	4.10 a	75.99 a	68.00 a	2.24 a	44.98 a
Co 1 tha <sup>-1</sup> s	2.61 de	72.37 ab	58.38 e	2.20 ab	31.43 c
Co 2 tha <sup>-1</sup> s	2.88 cd	72.44 ab	61.97 cde	2.23 a	35.25 bc
Co 3 tha <sup>-1</sup> s	3.69 ab	68.31 bc	64.77 abc	2.17 ab	37.36 b
Co 4 tha <sup>-1</sup> s	3.74ab	70.87 ab	65.35 abc	2.30 a	38.55 b
Co 5 tha <sup>-1</sup> s	3.72 ab	71.83 ab	65.86 abc	2.29 a	40.06 ab
<b>EE = ±</b>	0.1016	0.8963	0.5987	0.02312	0.5989

(a, b, c, d, e, f) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a  $p < 0.05$ . T- Control sin fertilización; Co- Compost; e- enterrado; s- superficial.

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

Tratamientos	MO	AE	FE	PERM	LIP
T	2.29 g	64.18 e	54.03 e	1.84 f	31.1 e
Z 7.5 tha <sup>-1</sup>	3.43 cd	68.58 d	57.24 d	2.01 de	33.38 d
Z 15 tha <sup>-1</sup>	3.57 b	69.38 c	60.65 c	2.05 c	35.35 c
Z 7.5 tha <sup>-1</sup> + 100 N	3.46 c	68.58 d	57.24 d	2.13 a	33.38 d
Z 15 tha <sup>-1</sup> + 100 N	3.52 b	69.38 c	60.65 c	2.05 c	35.35 c
Z 7.5 tha <sup>-1</sup> + Ca 22.5 tha <sup>-1</sup> (30:3:1)	3.71 a	69.67 b	65.57 a	2.09 b	40.26 b
Z 3 tha <sup>-1</sup> + Ca 18 tha <sup>-1</sup> (21:6:1)	3.40 de	71.04 a	62.62 b	2.14 a	42.63 a
Z 7.5 tha <sup>-1</sup> + NPK	3.37 e	68.58 d	57.24 d	2.00 e	33.38 d
Z 15 tha <sup>-1</sup> + NPK	3.24 f	69.38 c	60.65 c	2.04cd	35.35 c
<b>EE = ±</b>	0.05873	0.2672	0.4918	0.01288	0.5183

(a, b, c, d, e, f, g) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a  $p < 0.05$ . T- Control sin fertilización; Z- Zeolita; N-Nitrógeno; Ca- Cachaza; NPK- Fórmula Completa.

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

### 4.2.1 Análisis de la matriz de correlaciones.

El análisis de la matriz de correlaciones entre las variables estudiadas (Tabla 5) muestra el número de las correlaciones significativas así como el % que estas representan respecto al total. Las propiedades químicas resultaron ser las de menor número de correlaciones significativas con el resto. La Materia Orgánica manifiesta relaciones significativas con el 70% de las propiedades del suelo y rendimiento del cultivo, por lo que es una propiedad importante en la evaluación de la fertilidad de los suelos objeto de estudio. Gregorich *et al.*, (1994) citado por Colás (2007) consideran que los contenidos de Materia Orgánica totales y sus fracciones son importantes atributos de la calidad de suelo.

Existen algunos indicadores químicos que desde el punto de vista estadístico no manifiestan tener un alto número de relaciones con el resto, tal es el caso del pH en

agua, pH en KCl y el  $K_2O$ . Los indicadores físicos tienen un alto grado de correlaciones significativas con el resto de los indicadores destacándose los Agregados Estables al agua, Factor de Estructura, Permeabilidad, Límite Inferior de Plasticidad. Se corrobora lo planteado por Apezteguia *et al.*, (2001) cuando expresa que la Materia Orgánica del suelo representa la clave de la fertilidad del mismo y probablemente la propiedad que por si sola expresa la calidad de suelo. También Quiroga *et al.*, (2005) cuando afirman que los cambios en los contenidos de Materia Orgánica atribuibles al manejo afectarían los niveles y rango de variación de algunas propiedades físicas del suelo. Por su parte Ríos, (2010) encuentra que la Materia Orgánica y  $P_2O_5$  asimilable con el mayor % de correlación significativa en relación con el total de las propiedades estudiadas.

**Tabla 5.** Matriz de correlaciones para el experimento de niveles de cachaza.

Propiedades	Número de correlaciones significativas	% de correlaciones significativas del total
AE (%)	8	80 %
FE (%)	8	80 %
Permeabilidad (log 10 k)	7	70%
LIP (%hbss)	7	70%
pH agua	4	40 %
pH KCl	2	20 %
MO (%)	7	70 %
$K_2O$ (mg/100g)	2	20%
$P_2O_5$ (mg/100g)	9	90 %
Caña ( $tha^{-1}$ )	7	70 %
Pol ( $tha^{-1}$ )	8	80 %

#### 4.2.2 Análisis de componentes principales.

La evaluación de los componentes principales derivados de la acción de diferentes niveles de cachaza sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar, agrupan 3 componentes que representan el 93.76% de la varianza total (Tabla 6). El primer componente representa el 63.35% de la varianza de la varianza total y está integrado por todas las propiedades físicas estudiadas, así como por el rendimiento y algunas propiedades químicas entre las que se destaca la Materia Orgánica; esto constituye un elemento que corrobora que el Factor de Estructura, los Agregados Estables al agua, la Permeabilidad, el Límite Inferior de Plasticidad y la

Materia Orgánica pueden ser considerados indicadores de la calidad de los suelos Hidromórficos, dado su sensibilidad bajo la aplicación de estas enmiendas y coincidiendo con Singer y Ewing (2000) que plantean que las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Estos resultados coinciden con Colás, (2007) que encontró que el Factor de Estructura, los Agregados Estables al agua, la Permeabilidad, el Límite Inferior de Plasticidad y la Materia Orgánica estaban en el primer componente con coeficientes de 0.615 – 0.993.

**Tabla 6.** Componentes principales para el experimento de niveles de cachaza.

	Componentes		
	1	2	3
AE (%)	0.972		
FE (%)	0.932		
Permeabilidad (log 10 k)	0.790		
LIP (%hbss)	0.815		
pH agua		0.966	
pH KCl		0.815	
Materia Orgánica (%)	0.931		
K <sub>2</sub> O (mg/100g)			0.873
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	0.935		
Caña (tha <sup>-1</sup> )	0.952		
Pol (tha <sup>-1</sup> )	0.923		
<b>Total</b>	6.969	2.074	1.271
<b>% de la varianza</b>	63.352	18.851	11.555
<b>% de la varianza acumulada</b>	63.352	82.203	93.758

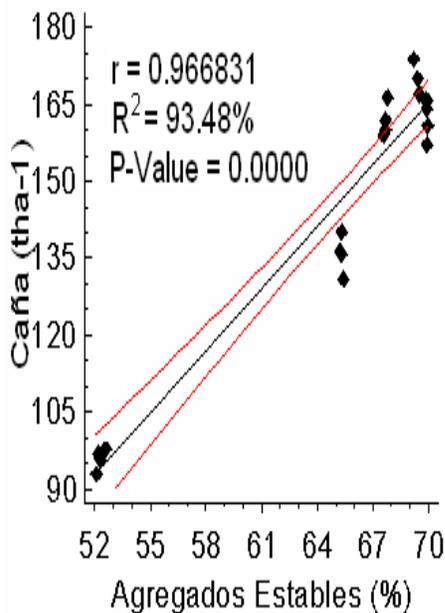
#### 4.2.3 Relaciones entre las propiedades del suelo y el rendimiento.

En las figuras (2 – 9) se aprecia la relación positiva existente entre las propiedades del suelo (Agregados Estables, Factor de Estructura, Permeabilidad y Materia Orgánica) y los indicadores de rendimiento del cultivo (Caña (tha<sup>-1</sup>) y Pol (tha<sup>-1</sup>)), con coeficientes de correlación (r) que oscilan entre 0.7 – 0.97.

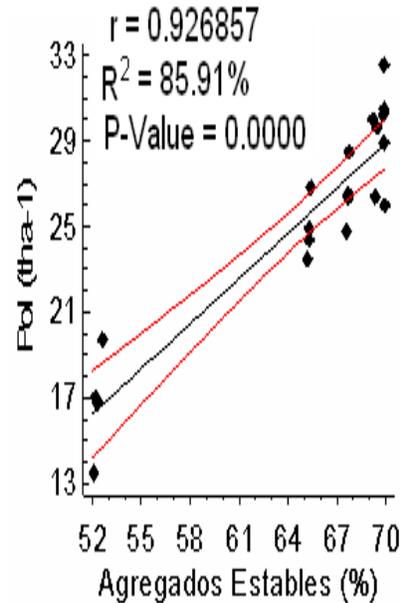
El rendimiento agrícola en tha<sup>-1</sup> de Caña y el rendimiento industrial en tha<sup>-1</sup> de Pol muestran tendencias a aumentar en la medida que se incrementan los indicadores de suelo tanto físicos como químicos. Cuando se relaciona con los Agregados Estables al agua los mayores aumentos se producen con valores por encima de 67% (índice que se evalúa de bueno). Para el Factor de Estructura con valores mayores del 66% y para la

Permeabilidad están por encima de 2.2. Los mayores incrementos en el rendimiento se logran cuando la Materia Orgánica alcanza % mayores de 2.4. Todo esto evidencia que las mejoras en las condiciones estructurales del suelo influyen en el rendimiento de la caña de azúcar en las enmiendas a base de niveles de cachaza. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Cabrera, (2000) en estudios sobre el enfoque agrofísico para la evaluación del mejoramiento de los suelos (en el ejemplo de los vertisoles) que encontró relaciones altamente significativas entre las propiedades del suelo y entre estas con el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar.

$$\text{Caña (tha}^{-1}\text{)} = -116.849 + 4.03130 \cdot \text{AE} \pm 7.32741$$



$$\text{Pol (tha}^{-1}\text{)} = -20.4725 + 0.705674 \cdot \text{AE} \pm 1.96657$$



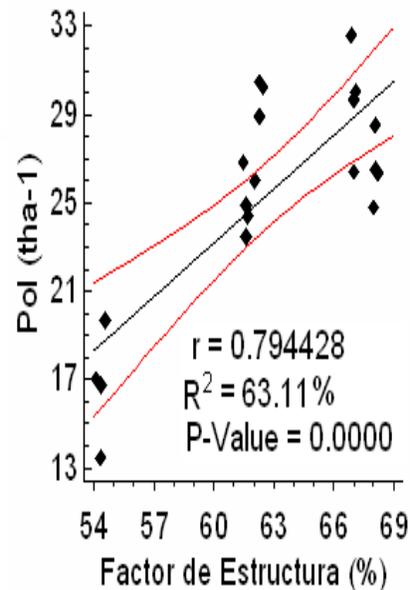
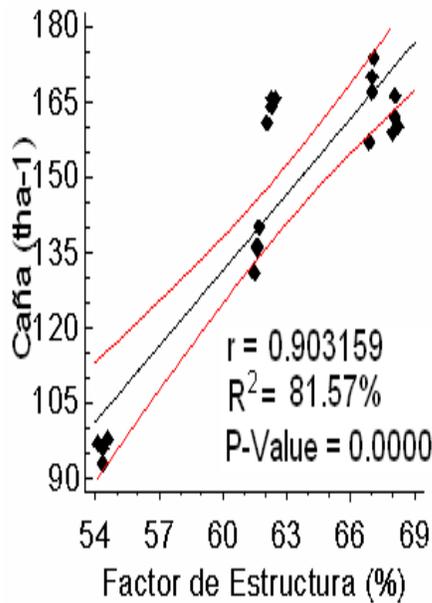
**Figura 2. Relación entre los Agregados Estables y el rendimiento Caña (tha<sup>-1</sup>).**

**Figura 3. Relación entre los Agregados Estables y el rendimiento Pol (tha<sup>-1</sup>).**



$$\text{Caña (tha}^{-1}\text{)} = -171.004 + 5.04259 \cdot \text{FE} \pm 12.316$$

$$\text{Pol (tha}^{-1}\text{)} = -25.3921 + 0.809916 \cdot \text{FE} \pm 3.18159$$

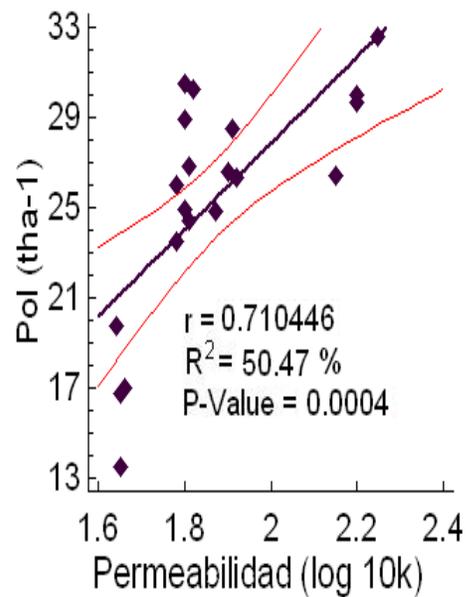
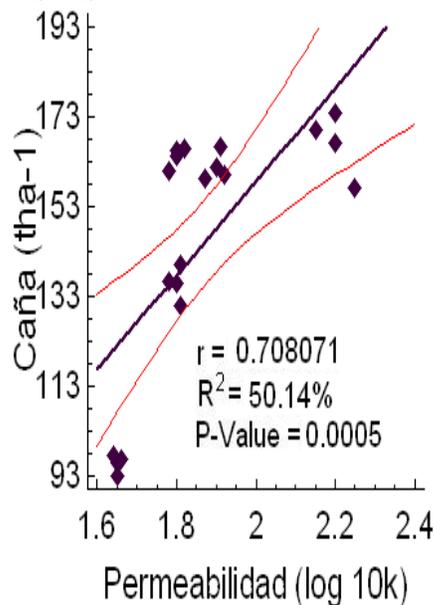


**Figura 4. Relación entre el Factor de Estructura y el rendimiento Caña (tha<sup>-1</sup>).**

**Figura 5. Relación entre el Factor de Estructura y el rendimiento Pol (tha<sup>-1</sup>).**

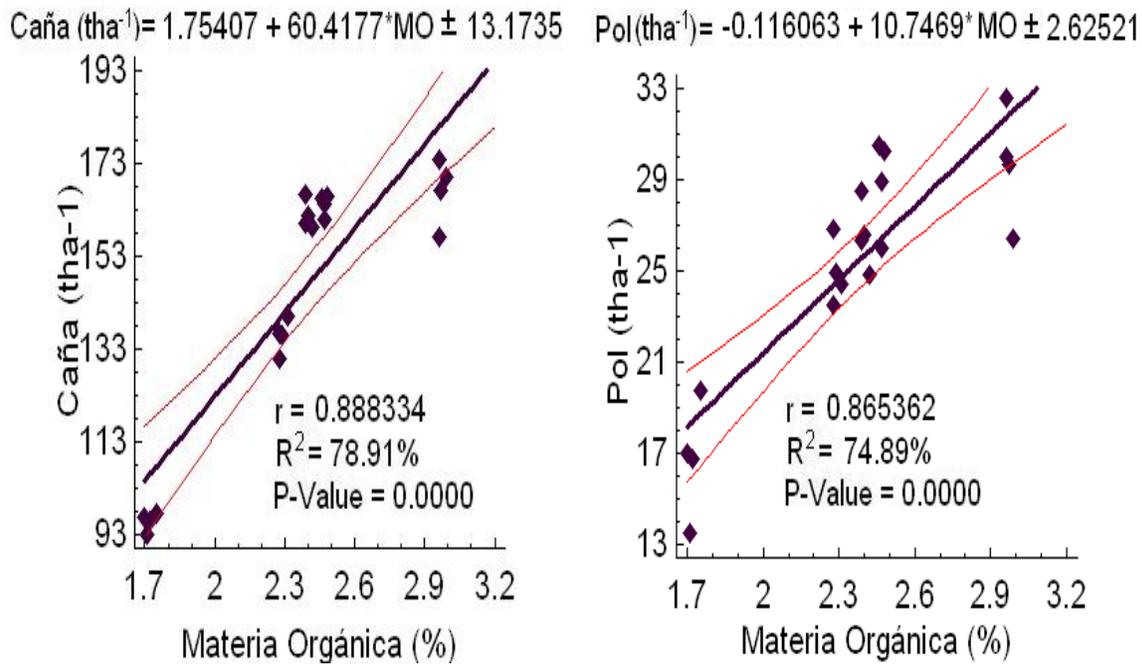
$$\text{Caña (tha}^{-1}\text{)} = -50.4913 + 104.511 \cdot \text{Perm} \pm 20.2579$$

$$\text{Pol (tha}^{-1}\text{)} = -10.4518 + 19.1475 \cdot \text{Perm} \pm 3.68653$$



**Figura 6. Relación entre la Permeabilidad y el rendimiento Caña (tha<sup>-1</sup>).**

**Figura 7. Relación entre la Permeabilidad y el rendimiento Pol (tha<sup>-1</sup>).**



**Figura 8. Relación entre la Materia Orgánica y el rendimiento Caña ( $\text{tha}^{-1}$ ).** **Figura 9. Relación entre la Materia Orgánica y el rendimiento Pol ( $\text{tha}^{-1}$ ).**

### 4.3 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo condiciones de un experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

#### 4.3.1 Análisis de la matriz de correlaciones

En la Tabla 7 se muestran la matriz de correlaciones del experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos. Las propiedades físicas tienen más de 80% de correlaciones significativas con el resto de las variables evaluadas. Otras variables que muestran alto porcentaje de correlaciones significativas por encima del 60% son la Materia Orgánica, el rendimiento en Caña ( $\text{tha}^{-1}$ ) y en Pol ( $\text{tha}^{-1}$ ). Las propiedades químicas son las que muestran menor número de correlaciones significativas con el resto de las variables (pH agua, pH KCl,  $\text{K}_2\text{O}$  (mg/100g),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (mg/100g)). Estos resultados coinciden con los de Colás, (2007) cuando obtuvo que las propiedades químicas resultaron ser las que menor grado de correlaciones significativas con el resto, no siendo así con las físicas que en todos los casos mostraron tener un alto número de correlaciones significativas con las demás.

**Tabla 7.** Matriz de Correlaciones para el experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

Propiedades	Número de correlaciones significativas	% de correlaciones significativas del total
AE (%)	8	80 %
FE (%)	8	80 %
Permeabilidad (log 10 k)	8	80 %
LIP (%hbss)	9	90 %
pH agua	5	50 %
pH KCl	3	30 %
MO (%)	6	60 %
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	3	30 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	4	40 %
Caña (tha <sup>-1</sup> )	6	60 %
Pol (tha <sup>-1</sup> )	7	70 %

#### 4.3.2 Análisis de componentes principales

En la matriz de componentes principales para el experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos (Tabla 8), las variables que se agrupan en el primer componente tienen 47.27% de la varianza acumulada. En el primer componente encontramos las 4 propiedades físicas estudiadas así como la Materia Orgánica, la Caña (tha<sup>-1</sup>) y el Pol (tha<sup>-1</sup>); en el segundo y tercer componente se ubican (pH agua, pH KCl, K<sub>2</sub>O (mg/100g) y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/100g)). En este caso coinciden con la matriz de correlación (Tabla 7). Estos resultados se corroboran con lo planteado por Bongiovanni *et al.*, (2001) sobre la Materia Orgánica que mejora las condiciones físicas del suelo, favoreciendo la formación de agregados y creando un medio propicio para el crecimiento de las raíces.

**Tabla 8.** Componentes principales para el experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

	Componentes		
	1	2	3
FE (%)	0.865		
AE (%)	0.899		
Permeabilidad (log 10 k)	0.775		
LIP (%hbss)	0.791		
pH agua		0.714	
pH KCl		0.838	
Materia Orgánica (%)	0.622		
K <sub>2</sub> O (mg/100g)		0.739	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)			0.702
Caña (tha <sup>-1</sup> )	0.874		
Pol (tha <sup>-1</sup> )	0.809		
<b>Total</b>	<b>5.200</b>	<b>2.385</b>	<b>1.335</b>
<b>% de la varianza</b>	<b>47.269</b>	<b>21.681</b>	<b>12.139</b>
<b>% de la varianza acumulada</b>	<b>47.269</b>	<b>68.951</b>	<b>81.090</b>

#### 4.4 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de compost.

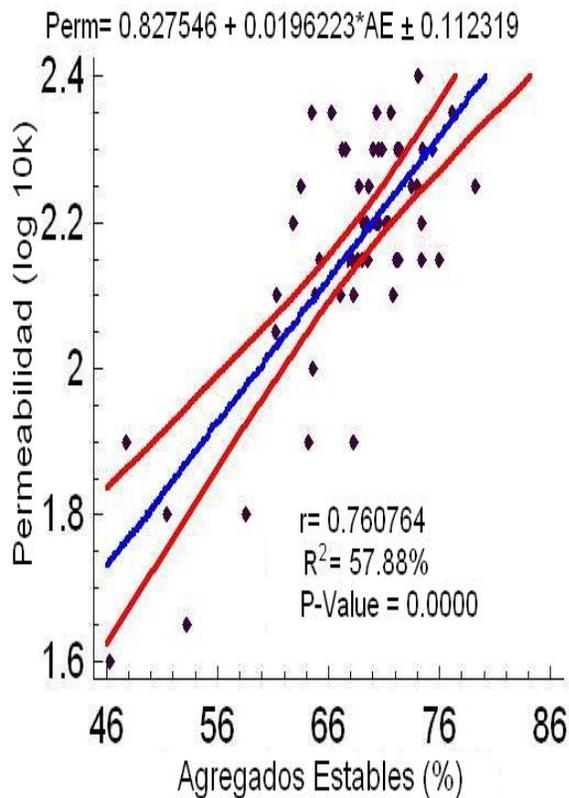
##### 4.4.1 Relaciones entre las propiedades del suelo.

Los resultados de las relaciones entre las propiedades del suelo en el experimento con niveles de compost (figuras 10 y 11) y la Tabla 9 confirman la sensibilidad y respuesta de la Materia Orgánica y los indicadores estructurales del suelo. Por un lado existen relaciones entre los indicadores estructurales y por otro entre la Materia Orgánica y los indicadores estructurales. (Ver figuras 10 y 11).

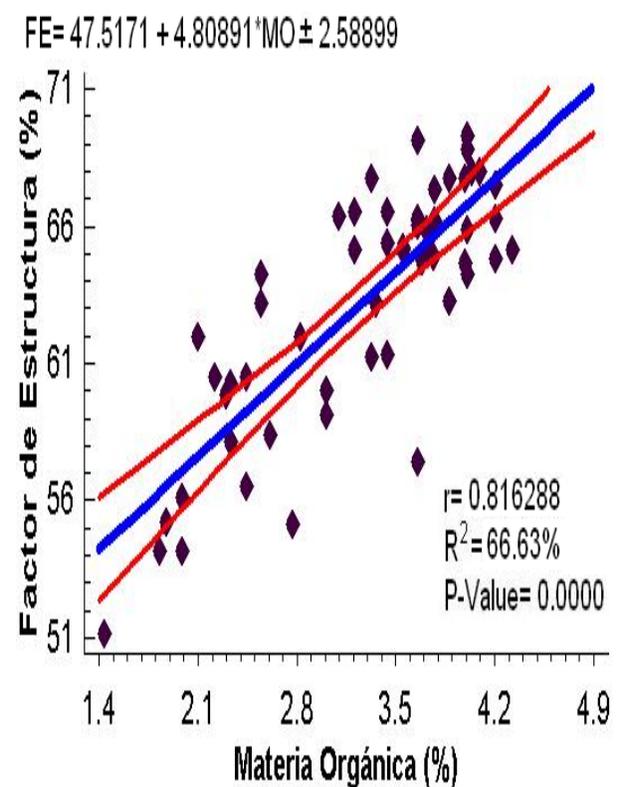
En la figura 11 se muestra como los incrementos en el porcentaje de Materia Orgánica a valores por encima de 3.2% traen consigo un mejor estado estructural del suelo (Factor de Estructura mayor de 60%, que se encuentran en la categoría de bueno) con coeficientes de correlación de 0.82. Resultados similares obtuvo Gattorno, (2008) al encontrar estrechas relaciones entre estas mismas propiedades ( $R^2$  mayores de 68%), en la medida de que aumenta la Materia Orgánica, aumenta a su vez el Factor de Estructura y la Permeabilidad del suelo. Mejía y Palencia (2005) plantean que 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.

Estudios realizados por Reyes (2006) y Colás (2007) demuestran la importancia de la matriz de correlación para evaluar el comportamiento de las propiedades del suelos en Ferralíticos rojos lixiviados de montaña y Ferralíticos rojos respectivamente.



**Figura 10. Relación entre los Agregados Estables y la Permeabilidad.**



**Figura 11. Relación entre la Materia Orgánica y el Factor de Estructura.**

En la matriz de componentes principales para el experimento con niveles de compost (Tabla 9) las variables se encuentran agrupadas en 3 componentes con el 76.62% de la varianza total explicada. En el primer componente se agrupan todas las propiedades físicas estudiadas (Agregados Estables, Factor de Estructura, Permeabilidad, Limite Inferior de Plasticidad), así como algunas químicas como la Materia Orgánica, pH agua y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asimilable; además de los indicadores de rendimiento (Caña (tha<sup>-1</sup>) y Pol (tha<sup>-1</sup>)). Todas estas muestran valores por encima de 0.60, destacándose las propiedades físicas, la Materia Orgánica y los indicadores de rendimiento con coeficientes mayores

de 0.70. Las variables que agrupa este componente explican el 50.44% de la varianza total del experimento.

Tandrón *et al.*, (2005) utilizando el método de análisis de componentes principales para Suelos Ferralíticos Rojos de Montaña encontró resultados muy similares para pH y el Factor Estructura. Por su parte Gattorno, (2008) al evaluar los componentes principales obtiene que el pH, la Materia Orgánica, y la Permeabilidad representan el 41 % de la variabilidad total, estando en el primer componente, y en el 2do componente el Factor Estructura y otras propiedades con 65%.

**Tabla 9.** Matriz de Componentes principales para el experimento con niveles de compost.

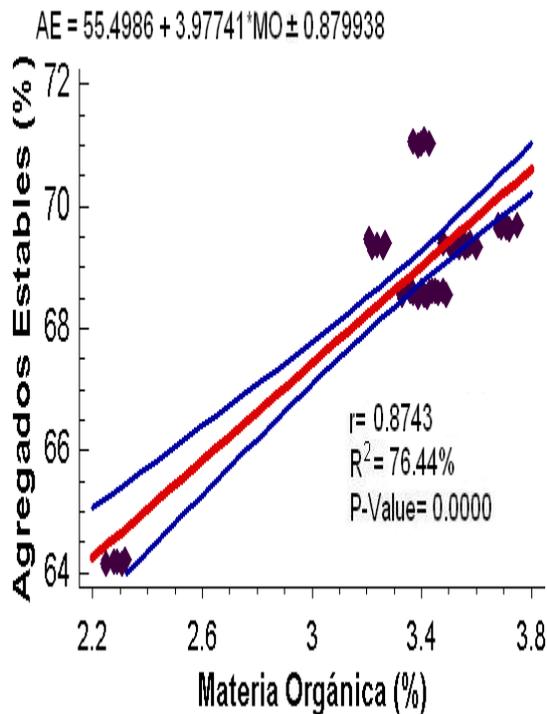
	Componentes		
	1	2	3
AE (%)	0.846		
FE (%)	0.826		
Permeabilidad (log 10 k)	0.773		
LIP (%hbss)	0.704		
pH agua	0.753		
pH KCl			0.629
Materia Orgánica (%)	0.835		
K <sub>2</sub> O (mg/100g)		0.839	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	0.608		
Caña (tha <sup>-1</sup> )	0.746		
Pol (tha <sup>-1</sup> )	0.704		
<b>Total</b>	<b>5.548</b>	<b>1.639</b>	<b>1.241</b>
<b>% de la varianza</b>	<b>50.437</b>	<b>14.900</b>	<b>11.285</b>
<b>% de la varianza acumulada</b>	<b>50.437</b>	<b>65.337</b>	<b>76.622</b>

#### 4.5 Relaciones entre las propiedades del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

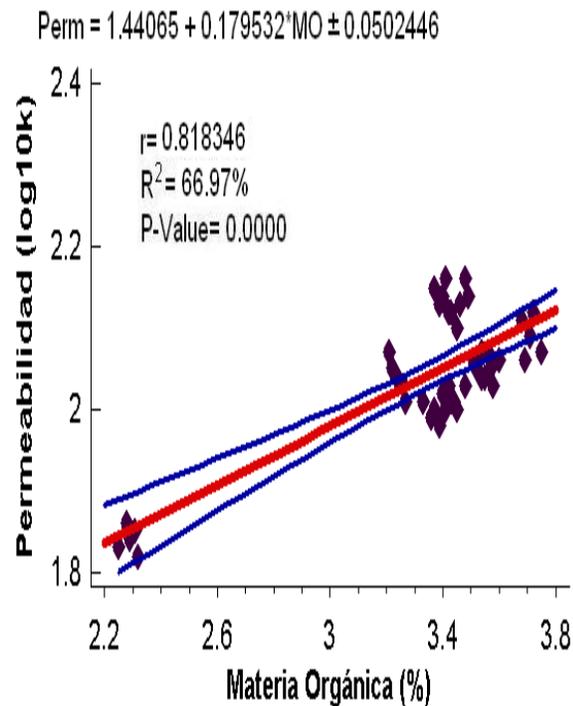
##### 4.5.1 Relaciones entre las propiedades del suelo

En las figuras 12 y 13 se muestran la estrechas relaciones y dependencia ( $r > 0.80$ ) que existen entre la Materia Orgánica con los Agregados Estables y la Permeabilidad del suelo bajo las condiciones de un experimento con niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos. Las alternativas de manejo agroecológico del

suelo permiten evaluar el nivel de relaciones entre la Materia Orgánica y las propiedades estructurales, un ejemplo de ello lo constituye este experimento.



**Figura 12. Relación entre la Materia Orgánica y los Agregados Estables.**



**Figura 13. Relación entre la Materia Orgánica y la Permeabilidad.**

#### 4.5.2 Análisis de componentes principales

La matriz de componentes principales (Tabla 10) resalta que todas las propiedades estudiadas bajo estas condiciones se concentran en el primer componente no obstante debe hacerse énfasis en el coeficiente, los cuales resultan más altos en los Agregados Estables, Factor de Estructura, Permeabilidad, Materia Orgánica, Caña ( $\text{tha}^{-1}$ ) y Pol ( $\text{tha}^{-1}$ ). El rendimiento del cultivo considerado en estos estudios tiene un valor extraordinario para la selección de los indicadores de calidad y la calidad del suelo en sí. Por su parte Ríos, (2010) estudiando los Suelos Pardos Grisáceos también obtiene en el primer componente a la Materia Orgánica, Permeabilidad y el Factor de Estructura con altos coeficientes (0.845, 0.909 y 0.625) respectivamente. Esta herramienta estadística confirma la influencia de estas propiedades bajo las condiciones de estudio.

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 10.** Matriz de Componentes principales para el experimento con niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

	Componentes	
	1	2
AE (%)	0.896	
FE (%)	0.828	
Permeabilidad (log 10 k)	0.893	
LIP (%hbss)	0.794	
pH agua	0.777	
pH KCl	0.722	
Materia Orgánica (%)	0.850	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	0.769	
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	0.927	
Caña (tha <sup>-1</sup> )	0.857	
Pol (tha <sup>-1</sup> )	0.819	
<b>Total</b>	7.619	1.196
<b>% de la varianza</b>	69.264	10.873
<b>% de la varianza acumulada</b>	69.264	80.137

#### 4.6 Análisis de los indicadores de calidad de suelo

Para el análisis de los indicadores de calidad de suelo se ha desarrollado durante todo el trabajo la metodología propuesta por Díaz y Morales (2003) y Reyes (2006), la cual tiene en cuenta los requisitos que debe reunir una propiedad para ser considerada como indicador de calidad del suelo (Las estrechas correlaciones encontradas de los indicadores propuestos con otras propiedades del suelo; las correlaciones de estas con los componentes del rendimiento (este segundo criterio muy importante); los resultados del análisis de componentes principales evidencian el peso de estos indicadores propuestos en la matriz) ; así como los criterios expresados por NSSC, (1996); Hünemeyer et al., (1997); Torstensson et al., (1998), Borreterán y Zinck, (2000); Singer y Ewing, (2000); Astier et al., (2002); sobre los conceptos indicador de calidad y calidad

de suelo.

La Tabla 11 expresa de manera selectiva el estado de las propiedades del suelo que reflejan con rigor estadístico los requisitos para ser seleccionada como indicadores de calidad, las propiedades que se reflejan tienen un % de correlaciones significativas que van de 60 – 100%. Estas propiedades expresan alta sensibilidad y cambio de categoría de evaluación, ejemplo en el experimento con niveles de compost, los Agregados Estables van desde la categoría de regular a excelente, con valores extremos que casi se duplican. Todas las propiedades seleccionadas se ubican en el primer componente con altos coeficientes.

La calidad de suelo es un concepto que está por encima del concepto de fertilidad y productividad del suelo, aunque un concepto acabado del mismo aún se discute. El más aceptado es como sigue: "Capacidad del suelo para funcionar dentro de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales y mantener o mejorar la calidad del aire y el agua, sostener la salud humana y el hábitat". (Cairo, 2010)

Para evaluar la calidad del suelo es importante desarrollar indicadores de sus condiciones físicas relacionadas con el rendimiento de los cultivos (Forsythe y Schweizer, 2001).

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 sostenibilidad. Esto no solo significa ahorrar insumos externos sino mantener la fertilidad natural del suelo, alcanzar producciones estables y proteger el recurso suelo para las generaciones futuras (Altieri, (1996) citado por Díaz y Morales (2003)).

**Tabla 11.** Interpretación de análisis estadísticos de los indicadores de calidad seleccionados.

Experimentos	Indicador	% de Correlaciones Significativas del Total	Sensibilidad y Cambio de Categoría	Componentes Principales
Estudio de niveles de cachaza. (11 indicadores)	<i>AE (%)</i>	80 %	52.10 - 69.95 (Regular – Bueno)	0.972 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>FE (%)</i>	80 %	54.12- 68.20 (Malo – Bueno)	0.932 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>Permeabilidad (log 10 k)</i>	70%	1.64 - 2.25 (Adecuada – Excelente)	0.790 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>MO (%)</i>	70 %	1.70 - 2.99 (Bajo – Mediano)	0.931 (1 <sup>er</sup> Componente)
Estudio de niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos. (11 indicadores)	<i>AE (%)</i>	80 %	56.40 - 70.29 (Bueno - Excelente)	0.899 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>FE (%)</i>	80 %	52.27 - 71.20 (Malo – Bueno)	0.865 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>Permeabilidad (log 10 k)</i>	80 %	1.59 - 2.44 (Adecuada – Excelente)	0.775 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>MO (%)</i>	60 %	1.72 - 3.50 (Bajo – Mediano)	0.622 (1 <sup>er</sup> Componente)
Estudio de niveles de compost. (11 indicadores)	<i>AE (%)</i>	90 %	46.36 - 79.30 (Regular – Excelente)	0.846 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>FE (%)</i>	100 %	51.12 - 69.30 (Malo – Bueno)	0.826 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>Permeabilidad (log 10 k)</i>	90 %	1.60 - 2.40 (Adecuada – Excelente)	0.773 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>MO (%)</i>	100 %	1.44 - 4.33 (Muy Bajo – Mediano)	0.835 (1 <sup>er</sup> Componente)
Estudio de niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos. (11 indicadores)	<i>AE (%)</i>	100 %	64.14 - 71.09 (Bueno - Excelente)	0.896 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>FE (%)</i>	100 %	54.00 - 65.64 (Malo – Bueno)	0.828 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>Permeabilidad (log 10 k)</i>	100 %	1.82 – 2.69 (Adecuada – Excelente)	0.893 (1 <sup>er</sup> Componente)
	<i>MO (%)</i>	100 %	2.25 - 3.75 (Bajo – Mediano)	0.850 (1 <sup>er</sup> Componente)

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

Teniendo en cuenta estos argumentos las propiedades seleccionadas como indicadores de calidad y sus niveles son: Agregados Estables (70%), Factor de Estructura (65%), Permeabilidad (2.1) y Materia Orgánica (3.2%). Con estos indicadores y sus valores claves se confeccionó el diagrama de calidad (ver Figura 14). Los resultados alcanzados con los indicadores de calidad seleccionados cumplen con lo expuesto por Tschirley (2005).

Las propiedades seleccionadas como indicadores de calidad para los Suelos Hidromórficos se corresponden con todas las obtenidas por Clavelo, (2008) y Gattorno, (2008) para los Suelos Pardos Sialíticos y Ferralíticos Rojos respectivamente. Al comparar los resultados obtenidos con los de Díaz y Morales, (2003) para los Suelos Pardos con Carbonatos encontramos 3 indicadores en común el Factor de Estructura, los Agregados Estables y la Materia Orgánica. Colás, (2007) encontró 3 propiedades indicadoras de la calidad coincidentes con este estudio, los Agregados Estables, el Factor de Estructura y la Permeabilidad. En el caso de los estudios realizados por Ríos, (2010) para los Suelos Pardos Grisáceos, los indicadores de calidad seleccionados solo coinciden con 2, la Permeabilidad y la Materia Orgánica. Coincide este estudio con una sola de las propiedades seleccionadas por Reyes (2006) como indicador de calidad para los Suelos Ferralíticos Rojos de Montaña, el Factor de Estructura.

El resultado de la comparación entre el diagrama de calidad y algunas de las alternativas seleccionadas se muestran en la figuras 15 y 16. En el caso de la comparación con el testigo (Figura 15), no logra acercarse al diagrama propuesto evidenciando las condiciones de degradación en que se encuentra el suelo bajo este tratamiento. Por otro lado existen alternativas agroecológicas con impacto positivo en el suelo como son: Ca 50  $\text{tha}^{-1}$ , Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + Co 4  $\text{tha}^{-1}$ , Dol 4  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 15  $\text{tha}^{-1}$ , Co 5  $\text{tha}^{-1}$  e, Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 22.5  $\text{tha}^{-1}$  (30  $\text{tha}^{-1}$ : proporción 3:1 Cachaza – Zeolita) y Z 3  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 18  $\text{tha}^{-1}$  (21  $\text{tha}^{-1}$  : proporción 6:1 Cachaza – Zeolita). Al comparar Z 3  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 18  $\text{tha}^{-1}$  con el diagrama se logra un acercamiento al mismo e incluso en algunos casos

indicadores aumentan respecto al diagrama, tal es el caso de los Agregados Estables, la Materia Orgánica y la Permeabilidad (Figura 16).

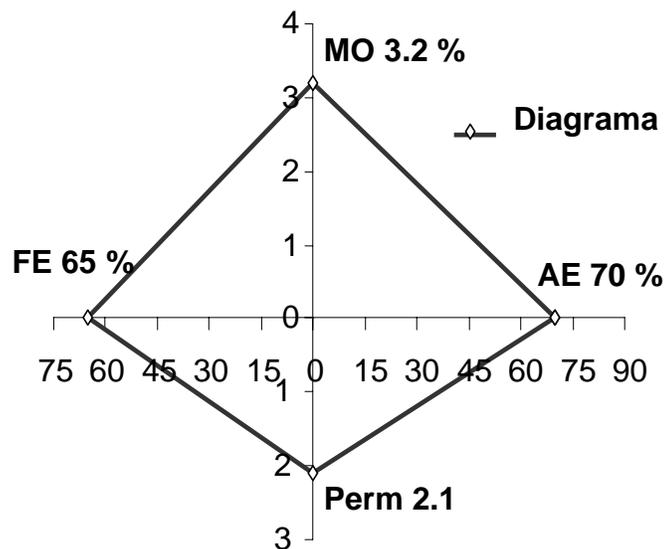
Reyes, (2006) hizo las comparaciones entre los valores alcanzados por los indicadores de calidad del suelo en el diagrama que propuso y los valores promedios de estos por sistema de producción agrícola y agroforestal, y los logrados por el efecto de los distintos tratamientos a que fueron sometidos ambos suelos. Cuando se establecen cultivos en hileras sin sombra y sistemas agroforestales pino – cafeto y albizia – cafeto, se va del rango al compararlo con el diagrama de indicadores, pero en sentido negativo. Cuando se usa el tratamiento con el testigo y el tratamiento control (NPK), el modelo se desplaza en sentido negativo. Con el sistema guamo-cafeto se mejoran de forma sustancial las deficiencias presentes en el resto de los sistemas. Los tratamientos  $4 \text{ tha}^{-1}$  de compost,  $4 \text{ tha}^{-1}$  de compost más  $4 \text{ tha}^{-1}$  de caliza dolomítica,  $15 \text{ tha}^{-1}$  de residuo del beneficio húmedo del café más  $4 \text{ tha}^{-1}$  de caliza fosfatada,  $4 \text{ tha}^{-1}$  de caliza dolomítica y  $4 \text{ tha}^{-1}$  de caliza fosfatada alcanzan valores próximos a los del diagrama de indicadores de calidad del suelo. Las variantes que logran mejoras sustanciales sobrepasando el diagrama en sentido positivo son los tratamientos:  $15 \text{ tha}^{-1}$  de residuo del beneficio húmedo del café,  $4 \text{ tha}^{-1}$  de compost más  $4 \text{ tha}^{-1}$  de caliza fosfatada y  $15 \text{ tha}^{-1}$  de residuo del beneficio húmedo del café más  $4 \text{ tha}^{-1}$  de caliza dolomítica respectivamente; este estudio reafirma los planteamientos realizados por Borreterán y Zinck (2000).

Según Reyes, (2006) el uso de residuos del beneficio húmedo del café, compost del propio residuo, los minerales naturales caliza fosfatada y caliza dolomítica, como vía para minimizar los problemas de acidez y propiedades físicas deficientes puestos de manifiesto en los suelos estudiados, corrobora lo planteado por (Pérez, 1997 y Gispert, 2003).

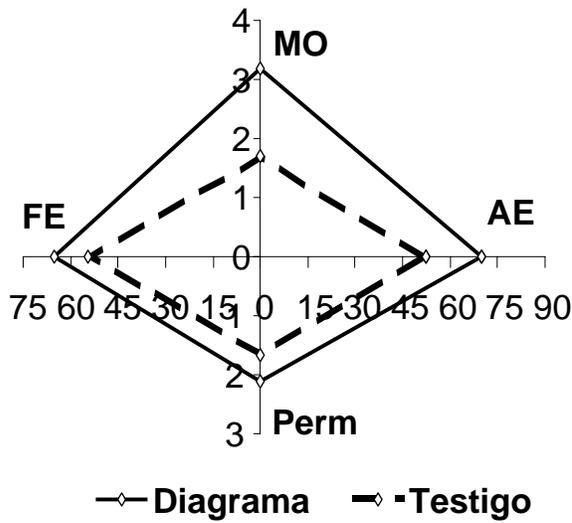
Colás, (2007) como resultado de la comparación entre el diagrama y los experimentos conducidos obtuvo que con la aplicación de las diferentes enmiendas se logra para todos los casos acercar al suelo a la calidad, se pone de manifiesto que con la aplicación de las enmiendas se originan cambios sensibles 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.

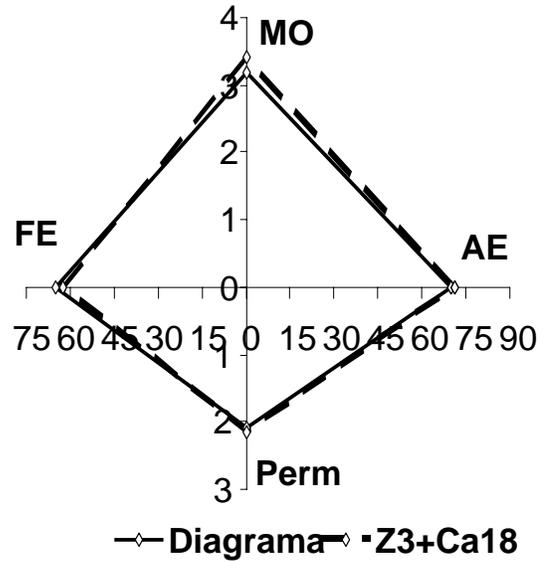
Gattorno, (2008) al comparar el Campo B ( $22 \text{ tha}^{-1}$  Cachaza +  $21 \text{ tha}^{-1}$  NPK) de la ECV Corralillo con el diagrama de calidad se observa que los indicadores se aproximan al diagrama; lo cual demuestra la influencia de la aplicación del abono orgánico para la recuperación de dichos suelos. Por lo contrario cuando se comparan los Campos A y B ( $21 \text{ tha}^{-1}$  NPK) de la ECV Sagua y Remedios respectivamente con el diagrama de calidad se evidencia un alejamiento progresivo de los indicadores del diagrama de calidad. Ahí está presente la sumatoria de los procesos degradativos que han tenido lugar en el suelo. El suelo está indicando la necesidad de su recuperación a partir de vías sostenibles como los indicados por Colás (2007), como son la aplicación de:  $4 \text{ tha}^{-1}$  Compost + Zeolita; Caliza Fosfatada  $4 \text{ tha}^{-1}$  + Cachaza  $50 \text{ tha}^{-1}$ ;  $4 \text{ tha}^{-1}$  Gallinaza;  $4 \text{ tha}^{-1}$  Zeolita +  $4 \text{ tha}^{-1}$  Compost.



**Figura 14. Diagrama de Indicadores de Calidad Propuesto para el Suelo Hidromórfico.**



**Figura 15. Comparación con el Testigo.**



**Figura 16. Comparación con 3  $tha^{-1}$  Zeolita + 18  $tha^{-1}$  Cachaza.**

#### 4.6.2 Índice de calidad del suelo por la metodología de Andrews et al., (2002).

En la Tablas 12 y 13 se observan el índice de calidad del suelo calculado a partir de los indicadores de calidad seleccionados (Materia Orgánica, Agregados Estables, Factor de Estructura y Permeabilidad) según la metodología propuesta por Andrews *et al.* (2002) para 2 experimentos, el primero con niveles de cachaza y el segundo con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos. Se aprecia que en esta escala de 0 a 1, los valores más altos están presentes en los tratamientos que contienen materiales orgánicos o las combinaciones órgano-minerales en comparación con el Control sin fertilización y la fertilización química. Esto denota un aumento en la calidad del suelo objeto de estudio.

George, (2006) al analizar el índice de calidad del suelo y aditivo para fincas de café orgánicos y convencional encontró que el valor para ambos índices fue superior en el orgánico lo que denota la importancia de los aportes orgánicos al suelo así como su manejo en sentido general.

Clavelo, (2008) al aplicar la metodología propuesta por Andrews *et al.*, (2002) para determinar el índice de calidad de suelo para el cultivo de la caña de azúcar en suelos Pardos Sialíticos obtuvo que los valores más altos (cerca de 1) están presentes en

los tratamientos que contienen materiales orgánicos o las combinaciones órgano-minerales en comparación con la fertilización química y el testigo sin fertilización, denotando el aumento en la calidad del suelo de los primeros con relación a estos últimos.

Estos resultados coinciden con los criterios de Díaz *et al*, (2005) que en estudios realizados para este mismo tipo de suelo consideran al sistema de agricultura actual utilizado en el monocultivo de la caña donde se aplica la fertilización química como poco sostenible después de analizar diferentes indicadores de calidad del suelo.

El manejo adecuado de los suelos ayuda a disminuir los procesos de erosión y mantener la calidad del mismo. Se pueden utilizar indicadores químicos, físicos, biológicos, sensoriales y socioeconómicos para monitorear procesos y tomar decisiones de manejo al cual someter un suelo (Ramírez, 2001)

Armida *et al.*, (2001) citado por Clavelo (2008), plantean que evaluar la calidad del suelo permite identificar indicadores de calidad los cuales son importantes herramientas de análisis que sirven para medir procesos a través de sus índices se identifican problemas en el área productiva, realizar estimaciones reales en la producción de alimentos, cambios en la calidad ambiental relacionados con la mineralización del C y N.

**Tabla 12.** Índice de calidad del suelo para los parámetros MO, AE, FE, Perm y su efecto sobre el suelo en el experimento de niveles de cachaza.

Tratamiento	Índice de calidad del suelo para el parámetro				ICSA
	MO	AE	FE	Perm	
<i>T</i>	0.58	0.75	0.80	0.75	2.88
<i>Ca 50 tha<sup>-1</sup></i>	1.00	0.99	0.98	1.00	3.98
<i>Ca 100 tha<sup>-1</sup></i>	0.81	0.97	1.00	0.86	3.64
<i>Ca150 tha<sup>-1</sup></i>	0.83	1.00	0.91	0.82	3.56
<i>Ca 200 tha<sup>-1</sup></i>	0.77	0.93	0.90	0.82	3.43
<b>Efecto sobre el suelo</b>	<b>Mayor es mejor</b>				

T- Control sin fertilización; Ca- Cachaza. ICSA – Índice de calidad de suelo aditivo.

**Tabla 13.** Índice de calidad del suelo para los parámetros MO, AE, FE, Perm y su efecto sobre el suelo en el experimento de niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

Tratamientos	Índice de calidad del suelo para el parámetro				
	MO	AE	FE	Perm	ICSA
<i>T</i>	0.51	0.84	0.80	0.82	2.97
<i>NPK</i>	0.61	0.85	0.84	0.76	3.07
<i>Dol 2 tha<sup>-1</sup></i>	0.64	0.96	0.96	0.97	3.53
<i>Dol 4 tha<sup>-1</sup></i>	0.59	0.95	0.90	0.95	3.38
<i>Dol 6 tha<sup>-1</sup></i>	0.56	0.98	0.96	0.95	3.46
<i>Dol 4 tha<sup>-1</sup> +P</i>	0.59	0.96	0.93	0.92	3.40
<i>Dol 4 tha<sup>-1</sup> +NP</i>	0.68	0.98	0.95	0.99	3.60
<i>Dol 4 tha<sup>-1</sup> +NPK</i>	0.65	0.96	1.00	0.94	3.55
<i>Dol 4 tha<sup>-1</sup> +Ca 15 tha<sup>-1</sup></i>	0.97	0.97	0.93	1.00	3.87
<i>Dol 4 tha<sup>-1</sup> +Co 4 tha<sup>-1</sup></i>	1.00	1.00	0.99	0.98	3.97

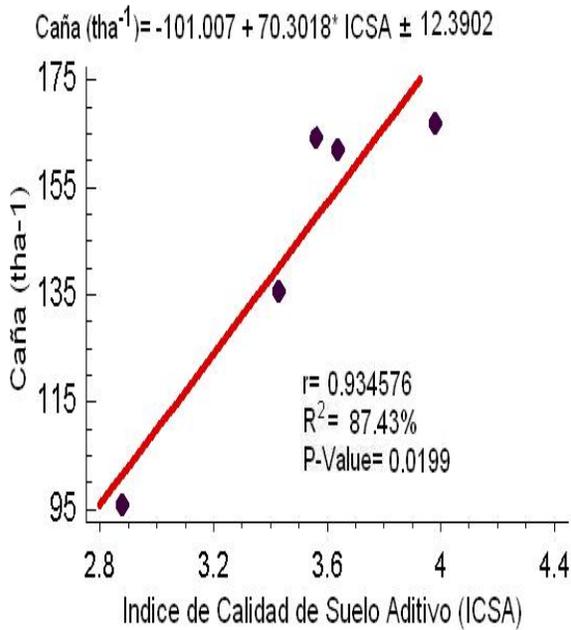
**Efecto sobre el suelo**

**Mayor es mejor**

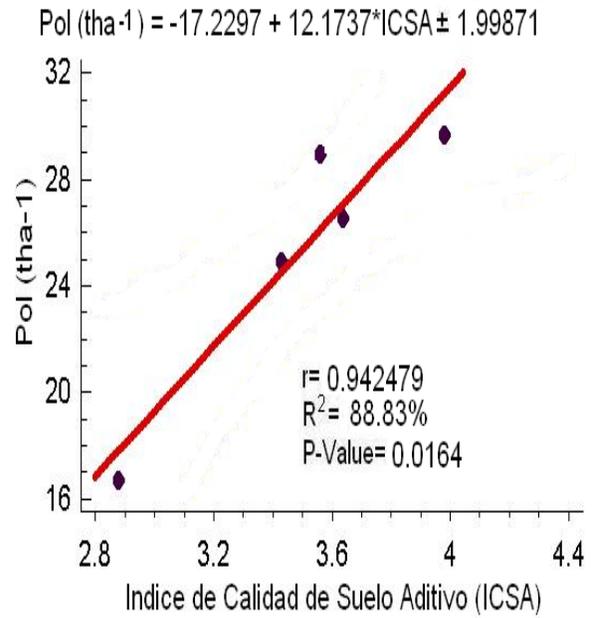
T- Control sin fertilización; NPK- Fórmula Completa; Dol – dolomita; N- Nitrógeno; P- Fósforo; Ca – Cachaza; Co – Compost. ICSA – Índice de calidad de suelo aditivo.

#### 4.6.2.1 Relaciones entre el índice de calidad de suelo y el rendimiento.

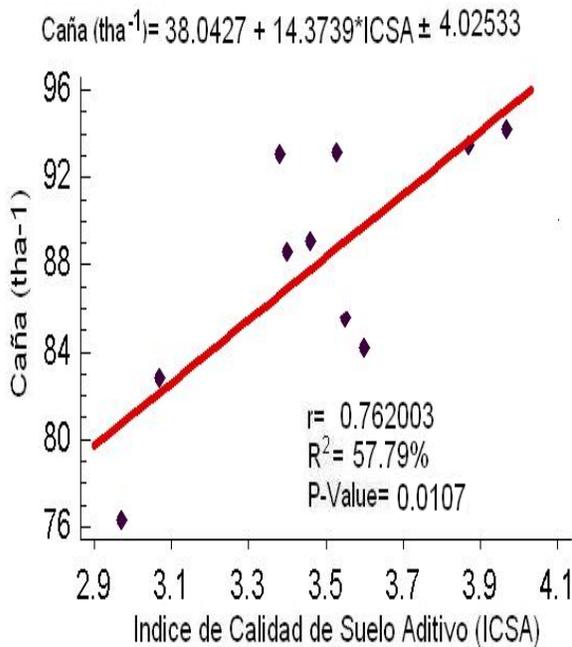
En las figuras 17, 18, 19 y 20 se observan las relaciones entre el rendimiento de la caña de azúcar y el índice de calidad de suelo aditivo bajo las condiciones de 2 experimentos de campo, uno con niveles de cachaza y otro con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos. En todos casos los coeficientes de correlación son altos, mayores de 0.70, llegando a ser superiores a 0.90 en el experimento con niveles de cachaza, lo que demuestra la importancia de la calidad del suelo para la obtención de altos rendimientos en este cultivo, lo cual coincide con los criterios de Masto *et. al.*, 2007 que encontraron una estrecha relación entre el índice de calidad del suelo y los rendimientos del maíz y el trigo. Clavelo, (2008) obtuvo relaciones estrechas entre el índice de calidad de suelo aditivo y el rendimiento acumulado de la caña de azúcar en 3 cosechas ( $R^2= 78.29$ ).



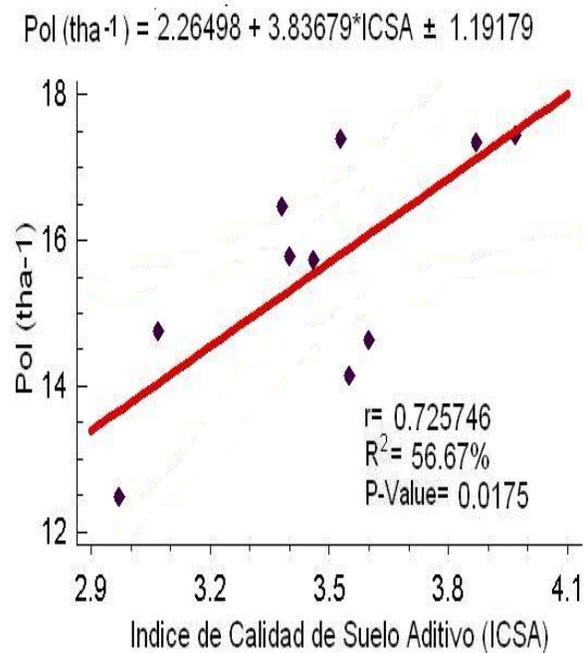
**Figura 17. Relación entre el Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) y la Caña (tha<sup>-1</sup>).**



**Figura 18. Relación entre el Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) y el Pol (tha<sup>-1</sup>).**



**Figura 19. Relación entre el Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) y la Caña (tha<sup>-1</sup>).**



**Figura 20. Relación entre el Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) y el Pol (tha<sup>-1</sup>).**

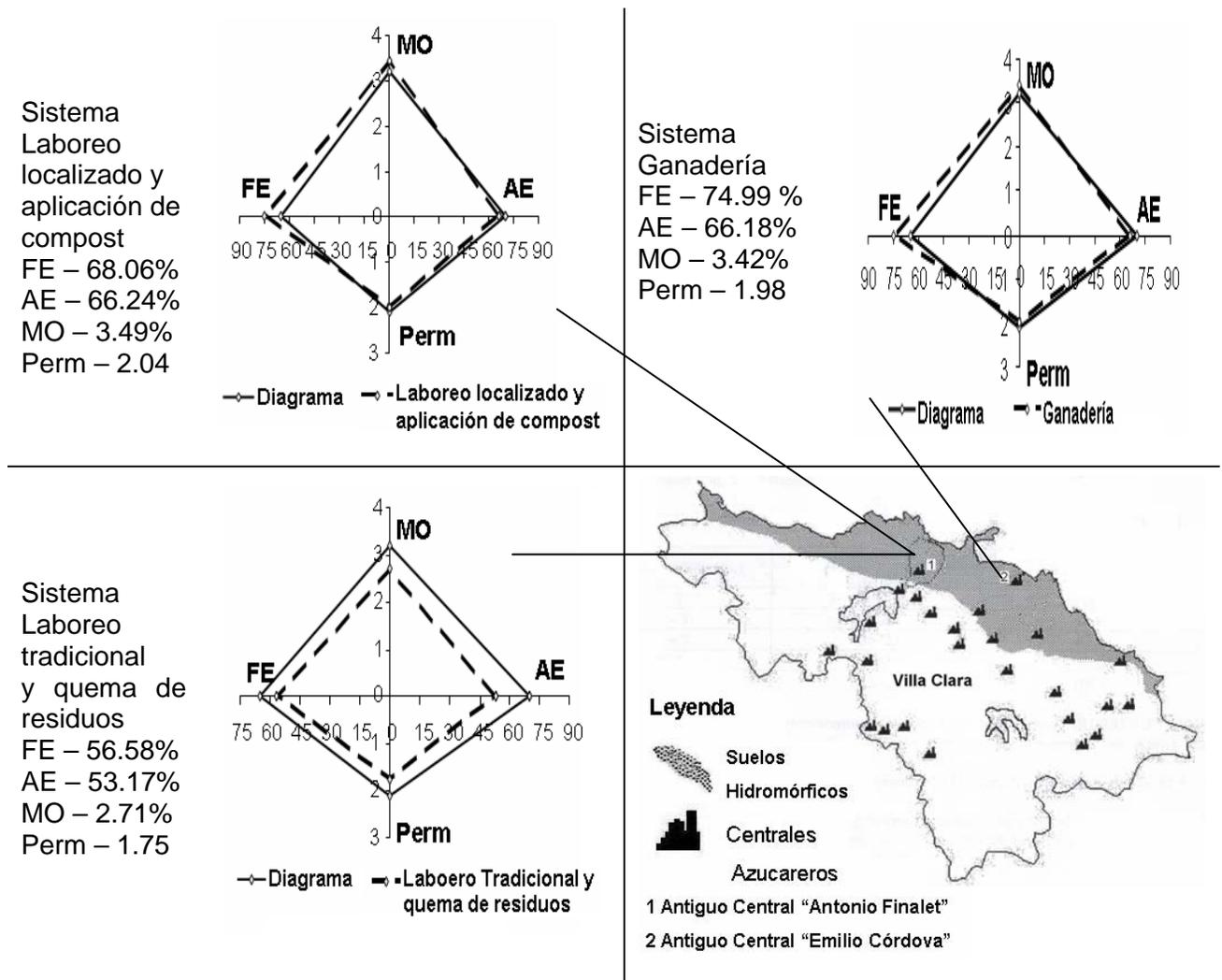
#### 4.6.3 Validación del diagrama de calidad propuesto.

En la figura 21 se muestran los valores de los indicadores alcanzados por los sistemas de manejo estudiados en condiciones de producción, además de la comparación de cada sistema con el diagrama de calidad propuesto. En el caso del Sistema Ganadería el 50% de los valores sobrepasan los del diagrama excepto en la Permeabilidad y los Agregados Estables, que solo llegan a 1.98 y 66.18 % respectivamente, quedando por debajo del valor propuesto para estos 2 indicadores de calidad de suelo. En el Sistema Laboreo localizado y aplicación de compost los valores alcanzados son similares al Sistema Ganadería, todos son mayores a los del diagrama de calidad propuesto, a excepción de los Agregados Estables (66.18%) y la Permeabilidad (2.04). En este caso aunque los valores de Permeabilidad no llegan al propuesto (2.10), el alcanzado se clasifica como excelente según los criterios de Cairo (2006). Al estudiar el Sistema laboreo tradicional y quema de residuos se evidencia que el manejo inadecuado del suelo trae consigo que los valores de los indicadores de calidad queden por debajo, manifestando condiciones de degradación respecto al diagrama propuesto para la calidad de los Suelos Hidromórficos. Estos resultados coinciden con Díaz *et al*, (2005) en estudios realizados para suelos Pardos Sialíticos consideran al sistema de agricultura actual utilizado en el monocultivo de la caña donde se aplica laboreo tradicional, la fertilización química y no se incorporan residuos al suelo como poco sostenible después de analizar diferentes indicadores de calidad del suelo.

Díaz y Morales, (2003) encontraron que los sistemas Pasto Natural y Agricultura Convencional que se apartan del modelo sostenible propuesto, muestran una tendencia a inclinarse gráficamente hacia la derecha donde se encuentran los mayores valores de índice de inestabilidad estructural. Por el contrario los sistemas de manejo que se aproximan a los indicadores de sostenibilidad propuestos muestran gráficamente una tendencia a inclinarse hacia la izquierda donde se encuentra los porcentajes de Materia Orgánica, Factor de Estructura y Agregados Estables al agua (Bosque Natural y Sistema Silvopastoril de 10 años). El Bosque Natural como sistema de manejo en equilibrio muestra una inclinación gráfica hacia la izquierda con relación al modelo sostenible, aunque no muy alejado del mismo, lo que demuestra las posibilidades reales de alcanzar indicadores de sostenibilidad bajo estas condiciones. En el caso del

Sistema Silvopastoril 10 años, se aproxima al valor de la Materia Orgánica y sobrepasa los valores del Factor de Eestructura y de Agregados Estables al agua en comparación con los indicadores propuestos, por lo que se demuestra que con el manejo del suelo, es posible alcanzar esos indicadores. Según Noval (2000) reportó que las mejoras que se obtienen en el suelo producto de las entradas de forma acumulativa de las bostas del ganado vacuno, la hojarasca y de las excreciones de los organismos del suelo, permite aseverar que a los seis años de establecidos los árboles, ya el sistema suelo se encuentra recuperado.

Colás, (2007) plantea que en 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.



**Figura 21. Comparación del diagrama con los sistemas de manejo.**

#### 4.7 Análisis Económico Ambiental

En las tablas 14 y 15 se muestra las relaciones existentes entre el manejo del suelo, la calidad de suelo e impacto económico para 2 de los experimentos. En el Anexo 5 se muestran los costos para 1 tonelada de los materiales empleados (abonos orgánicos, minerales naturales y fertilizantes químicos) en los diferentes experimentos. En el primer caso (Tabla 14) todos los sistemas de manejo que incluyen la cachaza logran superiores resultados que el control sin fertilización. El sistema de manejo de suelo que mayor ICSPA (mayor calidad de suelo) y mejores resultados económicos obtuvo

(menores costos, mayores incrementos en pol y valores del incremento así como las mayores ganancias) fue Cachaza 50  $\text{tha}^{-1}$ . Con este tratamiento se alcanzaron casi 13  $\text{tha}^{-1}$  de Pol más respecto al testigo, y sus ganancias son de más de 7000 pesos en relación al mismo.

En el experimento con niveles de dolomita y sus combinaciones con abonos orgánicos (Tabla 15) se aprecia que el manejo con zeolita ya sea sola o combinada incrementa la calidad del suelo en comparación al ICASA alcanzado por el control. El manejo de suelo con Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + 100 N resultó ser el de mayores incrementos de Pol logrando 11.15  $\text{tha}^{-1}$  mas que el control, pero este no es de los mejores desde el punto de vista económico porque incluye el N que es un fertilizante químico nocivo para el medio ambiente y además su costo en USD, elevan el del tratamiento (Ver tabla Anexo 5). Por todo lo anteriormente expuesto las mejores combinaciones desde todos los ángulos ambiental y económico son: Z 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 22.5  $\text{tha}^{-1}$  (30t: 3:1) Z 3  $\text{tha}^{-1}$  + Ca 18  $\text{tha}^{-1}$  (21t: 6:1). Con éstas se incrementa la calidad el suelo, el rendimiento de la caña de azúcar y se alcanzan indicadores económicos favorables (Bajos costos de adquisición de los materiales orgánicos empleados, favorables ingresos económicos en comparación al control y por ende ganancias positivas por encima de 4000 pesos).

Cairo et al., 2000 trabajando con otros mejoradores orgánicos y minerales han obtenido incrementos en Pol entre 3 y 4  $\text{tha}^{-1}$  en suelos bajo las mismas condiciones, esto reafirma las ventajas económicas que pueden tener el uso de estas alternativas.

Vázquez, (2003) al aplicar dolomita en diferentes dosis y alguna combinaciones con abonos orgánicos obtuvo incrementos en el rendimiento de la caña de azúcar de casi 2  $\text{tha}^{-1}$  de Pol más que con la fertilización química NPK, esto representó ganancias de hasta 290.00 USD $\text{ha}^{-1}$ .

Pedraza, (2005) en estudios realizados sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos Oscuros Plásticos (36 meses después de aplicados), obtuvo incrementos en los rendimientos agrícola e industrial al aplicar dosis de dolomita y combinaciones de ésta con cachaza y compost de entre 12 – 18  $\text{tha}^{-1}$  de Caña en comparación al testigo y entre 6 – 12  $\text{tha}^{-1}$  de Caña respecto a NPK. En cuanto a los incrementos de Pol estos oscilan de 3 – 4  $\text{tha}^{-1}$  y 1.7 – 2.7  $\text{tha}^{-1}$  si se le comparan con el control y NPK respectivamente. Con estos resultados se obtuvieron ganancias netas

entre 450 y 680 USD por venta de azúcar y relaciones beneficio – costo de 1.62 – 10.50.

Clavelo, (2008) en estudios realizados sobre el efecto de la aplicación de abonos orgánicos y minerales naturales sobre la calidad del suelo Pardo Sialítico y el rendimiento de la caña de azúcar, encontró que en las variantes que incluían abonos orgánicos como el compost y la cachaza mezclado con minerales naturales (zeolita y caliza fosfatada) se incrementaba el rendimiento agrícola e industrial de la caña de azúcar hasta 30  $\text{tha}^{-1}$  de Caña y 8  $\text{tha}^{-1}$  de Pol respectivamente. Estos resultados representan la obtención de ganancias en términos de la venta de azúcar agranel en MN hasta 13 988.97 pesos respecto al Control que solamente alcanzó 9 044.68 pesos por este concepto.

**Tabla 14.** Relación entre el manejo del suelo, calidad de suelo e impacto económico para el experimento con niveles de cachaza.

Manejo de Suelo	ICSA	Costo total	Incremento del Pol ( $\text{tha}^{-1}$ ) respecto a T	Valor del incremento	Ganancia
<i>T</i>	2.88	0.00	-	-	-
<i>Ca 50 <math>\text{tha}^{-1}</math></i>	3.98	350.00	12.93	7444.32	7094.32
<i>Ca 100 <math>\text{tha}^{-1}</math></i>	3.64	700.00	9.82	5653.77	4953.77
<i>Ca 150 <math>\text{tha}^{-1}</math></i>	3.56	1050.00	12.19	7018.27	5968.27
<i>Ca 200 <math>\text{tha}^{-1}</math></i>	3.43	1400.00	8.18	4709.55	3309.55

T- Control sin fertilización; Ca- Cachaza. Precio del 1 t de pol 575.74 USD (Fuente MINAZ, febrero 2010).

**Tabla 15.** Relación entre el manejo del suelo, calidad de suelo e impacto económico para el experimento con niveles de zeolita y sus combinaciones con abonos orgánicos.

Manejo de Suelo	ICSA	Costo total	Incremento del Pol ( $tha^{-1}$ ) respecto a T	Valor del incremento	Ganancia
<i>T</i>	3.20	0	0.00	-	-
<i>Z 7.5 tha<sup>-1</sup></i>	3.70	187.5	0.32	184.24	-3.26
<i>Z 15 tha<sup>-1</sup></i>	3.82	375	4.49	2585.07	2210.07
<i>Z 7.5 tha<sup>-1</sup> + 100 N</i>	3.77	283.9	11.15	6419.50	6135.60
<i>Z 15 tha<sup>-1</sup> + 100 N</i>	3.81	471.4	8.85	5095.30	4623.90
<i>Z 7.5 tha<sup>-1</sup> + Ca 22.5 tha<sup>-1</sup> (30 :3:1)</i>	3.96	345	9.49	5463.77	5118.77
<i>Z 3 tha<sup>-1</sup> + Ca 18 tha<sup>-1</sup> (21: 6:1)</i>	3.87	201	7.96	4582.89	4381.89
<i>Z 7.5 tha<sup>-1</sup> + NPK</i>	3.68	577.52	7.20	4145.33	3567.81
<i>Z 15 tha<sup>-1</sup> + NPK</i>	3.73	765.02	2.30	1324.20	559.18

T- Control sin fertilización; Z- Zeolita; NPK- Fórmula Completa; N- Nitrógeno; Ca- Cachaza. Precio del 1 t de pol 575.74 USD (Fuente MINAZ, febrero 2010).

## 5. CONCLUSIONES

1. Los resultados demuestran que a través de las relaciones entre las propiedades, la matriz de correlaciones y el análisis de los componentes principales que la Materia Orgánica y los indicadores físicos se destacan en su grado de significación en comparación con las propiedades químicas estudiadas.
2. En los estudios realizados se encontró estrechas relaciones entre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar con coeficientes de correlación hasta de 0.96.
3. Las propiedades que mejor muestran la capacidad del suelo para funcionar, además de presentar más rigor ante el análisis estadístico, así como sensibilidad y cambio de categoría son: Permeabilidad log 10k (Perm 2.1), Agregados Estables (AE 70%), Factor de Estructura (FE 65%) y la Materia Orgánica (MO 3.2%) por lo que se pueden considerar como indicadores de calidad de los Suelos Hidromórficos estudiados.
4. Las alternativas de mejoramiento que más se acercan o ajustan al diagrama de calidad de suelo establecido para los suelos Hidromórficos son Dolomita 4  $\text{tha}^{-1}$  + Compost 4  $\text{tha}^{-1}$ , Dolomita 4  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 15  $\text{tha}^{-1}$ , Compost 5  $\text{tha}^{-1}$  enterrado, Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 22.5  $\text{tha}^{-1}$  (30  $\text{tha}^{-1}$ : proporción cachaza- zeolita 3:1) y Zeolita 3  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 18  $\text{tha}^{-1}$  (21  $\text{tha}^{-1}$ : proporción cachaza- zeolita 6:1).
5. Los indicadores seleccionados por la metodología propuesta coinciden con los seleccionados para el análisis del índice de calidad de suelo por la metodología de Andrews *et al.*, 2002.
6. Se demostró la relación estrecha entre el índice de calidad de suelo aditivo y el rendimiento de la caña de azúcar.
7. La validación de la calidad del suelo en la región estudiada confirma la importancia de las prácticas de manejo agroecológico en la recuperación de estos suelos con vistas a obtener rendimientos estables en la producción de caña y otros cultivos.
8. Se demuestra la relación existente entre el manejo ecológico, índice de calidad de suelo, incrementos del rendimiento de la caña de azúcar y las ganancias obtenidas (entre 4 000 y 7 000 USD); los mejores resultados se obtienen con los tratamientos Cachaza 50  $\text{tha}^{-1}$ , Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 22.5  $\text{tha}^{-1}$  (30  $\text{tha}^{-1}$ : proporción cachaza-zeolita 3:1) y Zeolita 3  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 18  $\text{tha}^{-1}$  (21  $\text{tha}^{-1}$ : proporción cachaza- zeolita 6:1).

## **6. RECOMENDACIONES**

1. Continuar los estudios de diagnóstico y evaluación de la calidad de los suelos Hidromórficos.
2. Con vistas a lograr la calidad de los suelos Hidromórficos aplicar: Cachaza 50  $\text{tha}^{-1}$ , Dolomita 4  $\text{tha}^{-1}$  + Compost 4 $\text{tha}^{-1}$ , Dolomita 4  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 15  $\text{tha}^{-1}$ , Compost 5  $\text{tha}^{-1}$  enterrado, Zeolita 7.5  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 22.5  $\text{tha}^{-1}$  (30  $\text{tha}^{-1}$ : proporción cachaza- zeolita 3:1) y Zeolita 3  $\text{tha}^{-1}$  + Cachaza 18  $\text{tha}^{-1}$  (21  $\text{tha}^{-1}$ : proporción cachaza- zeolita 6:1).
3. Introducir gradualmente los indicadores de calidad establecidos en este trabajo para el monitoreo de la calidad de los suelos Hidromórficos dedicados a la caña de azúcar en la región estudiada y en otras con características similares a estas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. **Aborgánicos del Huila.** 2004. Fertilizantes Orgánicos, Preparación de fórmulas y mezclas especiales de acuerdo al análisis del suelo y tipo de cultivo. Copyright 1999-2004. Buenos Aires, Argentina.
2. **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.
3. **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.
4. **Álvarez, Elena y Mattar, J.** 2004. Política social y reformas estructurales: Cuba a principios de siglo XXI. Naciones Unidas, CEPAL, PNUD e Instituto Nacional de Investigaciones Económicas (INIE). La Habana, Cuba.
5. **Andrews, S. S.; Karlen, D. L. ; Mitchell, J. P.** 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture Ecosystems and Environment 90: 25 – 45.
6. **ANEC VC.** 2008. ONE Oficina Nacional de Estadísticas. Provincia Villa Clara. ANUARIO ESTADÍSTICO 2007.
7. **Apezteguia, H.; Sereno, R.; Vettorello y Cecilia Inés.** 2001. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes. Centro de Convenciones Plaza América del 11 al 16 de Noviembre de 2001. Sociedad Cubana de Ciencia del Suelo. ISSN: 1609-1876. p. 44.
8. **Arshad, M y Cohen, G.** 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31p.
9. **Arshad, M. A. y Martin, S.** 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro ecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 88, 153–160.
10. **Arzola, N.** 2004. Empleo de fuentes alternativas de nutrientes en caña de azúcar. INICA, Departamento de Suelo y Agroquímica (SERFE), pp 9.
11. **Arzola, N.; V. Paneque; H. Battle; L. Morejón; C. Alfonso y G. Hernández.** 1990. La cachaza como enmienda orgánica y fertilizante para la caña de azúcar. Folleto divulgativo del INCA. La Habana.
12. **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]



13. **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.
14. **Astier, C. M.; Mass-Moreno, M. y Etchevers, B. J.** 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36, 605-620.
15. **Ayes, G.** 2006. Desarrollo sostenible y sus retos. Editorial Científico – Técnica. 159 p.
16. **Bandinck, A y Dick.R.** 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31(11): 1471-1479.
17. **Barak, P., Jobe, B.O., Krueguer, A. R. Peterson, L. A. y Laird, D. A.** 1997. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizier inputs in Wisconsin. *Plant and Soil*. 197:61 – 69.
18. **Beare M., Cameron, K., Williams, P., Doscher, C.** 1997. Proceedings of the fiftieth New Zealand Plant Protection Conference, 520 - 528p.
19. **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.
20. **Bongiovanni, M.; Lobartini, J. C. y Oriolli, G.** 2001. Cementos orgánicos transitorios del suelo. Cambios producidos por el uso y su efecto sobre la agregación. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes. Centro de Convenciones Plaza América del 11 al 16 de Noviembre de 2001. Sociedad Cubana de Ciencia del Suelo. ISSN: 1609-1876. p. 49.
21. **Borreterán, J y Zinck, J.** 2000. Indicadores de la calidad agrícola nacional celearela. Caso Estudio. Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía*. 17. 139 - 155p.
22. **Budd, W. W.** 1992. What capacity the land? *J. Soil Water Conservation* 47: 28-31.
23. **Buol, S. W.** 1995. Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic* 26:25-44.



24. **Cabrera, M. T.** 1998. Estudio de la aplicación de diferentes fuentes minerales y compost en un suelo Ferralítico Rojo. Informe: Trabajo Temático productivo. # 119. Sector II. Empresa geominera del Centro. P 46 – 52.
25. **Cabrera, R. y Bouzo, Lidia.** 1999. Fundamentos técnicos económicos para el uso de fertilizantes y enmiendas en la caña de azúcar. (SERFE). Curso I. INCA. 16 – 22 p.
26. **Cabrera, S.** 2000. Enfoque agrofísico para la evaluación del mejoramiento de los suelos (en el ejemplo de los vertisoles). Tesis de Doctorado. Cuba. 113 p.
27. **Cabrera, S., Noemí Fernández, E. O. Abreu, R. Curbelo y A. Bernal.** 2000. La materia orgánica y el estado energético de los vertisoles. II: Incidencia en la capacidad agroproductiva del suelo. Programas y resúmenes. XII Seminario científico, noviembre 14 al 17, 2000. INCA. Cuba. 129 p.
28. **Cairo, P.** 1999. Estudio de niveles de aplicación de la Dolomita y su interacción con fertilizantes y abonos orgánicos. CIAP. Proyecto de investigación.
29. **Cairo, P.** 2003. La fertilidad física y la agricultura orgánica en el trópico. 138 p.
30. **Cairo, P.** 2006. Edafología Práctica. Libro. 150 p.
31. **Cairo, P.** 2009. Comunicación personal.
32. **Cairo, P.** 2010. Comunicación personal.
33. **Cairo, P., Goya, S., Machado, J., Díaz, B., Chaviano, B.** 2002. Mejoramiento de la fertilidad natural de los suelos pardos grisáceos (Inceptisols) dedicados al cultivo del tabaco. Centro Agrícola. 29 (3): p. 37 – 42.
34. **Cairo, P.; Machado, J.; Del Río, H.; Acosta, W.; Brito, J.; Torres, P.; Jiménez, R.** 1995. Mejoramiento y fertilización de los suelos en condiciones de una agricultura sostenible de la caña de azúcar. II Encuentro nacional de Agricultura Orgánica. Libro de resúmenes, La Habana. P.8-9.
35. **Cairo, P; Machado, J; Artiles, T.** 2000. Minerales naturales alternativos. Su uso en el mejoramiento de los suelos degradados. Informe final. Proyecto territorial CITMA. Villa Clara.
36. **Cairo, P. y Fundora, O.** 2005. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana: 476 p.



37. **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.
38. **Carter, M. R.; Gregorich, E. G.; Anderson, D. W.; Doran, J. W.; Janzen, H. H.; 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.
39. **Clavelo, Bettsy.** 2008. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos y minerales naturales sobre la calidad del suelo Pardo Sialítico y el rendimiento de la caña de azúcar. Tesis Presentada en Opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 76p.
40. **Colás, Ariany.** 2007. Obtención de indicadores de calidad de un suelo Ferralítico Rojo compactado. Tesis Presentada en Opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 65 p.
41. **Crespo, G.; I. Rodríguez.; J. Ortiz.; V. Torres.; G. Cabrera.** 2003. Contribución al conocimiento del reciclaje de los nutrientes en el suelo – pastos – animal en Cuba. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba. p 72.
42. **Cruz, María Caridad.** 2005. ¿De qué suelos esperamos alimentarnos?. *Revista TEMAS.* Número 44 (octubre – diciembre): 35 – 47 p.
43. **Díaz, B y Morales, Mayelín.** 2003. La materia orgánica y el estado de fertilidad de los suelos pardos con carbonatos bajo diferentes sistemas de manejo. Tesis Presentada en Opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba.
44. **Díaz, B. A.** 2005. La materia orgánica y calidad del suelo en el contexto de la agricultura sostenible. Monografía, Editorial Feijoo. Centro de Investigaciones Agropecuarias. UCLV. 49 p.
45. **Díaz, B.; Cairo, P.; Rodríguez, Oralía.; Abreu, Inés.; Torres, P.; Jiménez, R.; Dávila, A.; Colás, Ariany.** 2005. Evaluación de la sostenibilidad del manejo del suelo Pardo con Carbonato (Inceptisol) a través de indicadores de calidad del mismo. *Centro Agrícola.* Número 2. p 73 – 78.
46. **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.



47. **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.
48. **Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C.** 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
49. **Ely, R. T.** 2001. Cuando en Cuba reinaba Su majestad, el Azúcar. Ediciones Imagen Contemporánea, La Habana, Cuba.
50. **FAO – UNESCO.** 1988. Soils of the World. Revised Legend. FAO, Roma, Italia. 119p.
51. **FAO.** 2001. Enfoques / 2001 Agricultura y el cambio climático. Publicado en marzo de 2001 en <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0103sp2.htm>. Consultado 8 de abril de 2010.
52. **FAO.** 2003. Aplicación Balanceada de Estiércol a la Tierra conducente a Fertilidad Mejorada del Suelo. En sitio: <http://www.lead.virtualcentre.org>.
53. **Febles, J. M.** 1998. Aportes para el manejo ecológico de los suelos en Cuba. Folleto UNAH, La Habana, Cuba 22 p.
54. **Fernández, J. A.; I. García; F. Martínez.** 2003. Constituyentes del suelo. Fase sólida. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. En sitio: <http://edafología.ugr.es>.
55. **Font, L.; Chaveli, P.; Calero, B.; Muñiz, O.; Curbelo, R.; González, M. y Marrero, J. O.** 2004. Calidad del suelo y sostenibilidad agrícola. Métodos de Estimación. Centro Agrícola, 31: 1 – 2 (ene – jun). 111 -113p.
56. **Forsythe, W. y Schweizer, Susana.** 2001. La resistencia a la penetración y la rata de infiltración como indicadores de condiciones físicas de un suelo en Costa Rica. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes. Centro de Convenciones Plaza América del 11 al 16 de Noviembre de 2001. Sociedad Cubana de Ciencia del Suelo. ISSN: 1609 -1876. p. 49.
57. **Foster, J. C.; Zech, W, y Wudinger, E.** 1993. Comparisons of the chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contracting sources. Biol. Fertil Soil 16; 93 – 99.
58. **Freire, O.** 1992. Utilización de biotierras obtenidas de cachaza en suelos oscuros plasticos dedicados a la caña de azúcar. Trabajo de Diploma. UCLV. Cuba. 28 p.



59. **Funes-Monzote, F.** 2008. Elaboración y utilización del compost en fincas agroecológicas. Abonos Orgánicos. ACTAF.
60. **García, E. y A. Fernández.** 2000. Los suelos y la fertilización de la caña de azúcar. Manual para productores cañaros. Habana Cuba. pp 17-30.
61. **García, R., R. Guijarro y O. Milán.** 1998. Empleo de fuentes alternativas para la producción de bananos y plátanos en Cuba. Producción de Banano Orgánico y, o, ambientalmente amigable. Memorias del Taller Internacional realizado en Costa Rica. p. 89 - 105.
62. **Gattorno, Sirley.** 2008. Evaluación de la fertilidad actual del suelo Ferralítico Rojo bajo condiciones de explotación intensiva en Empresas de Cultivos Varios de Villa Clara. TRABAJO DE DIPLOMA. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, UNIVERSIDAD CENTRAL "Marta Abreu" DE LAS VILLAS. 43 p.
63. **George, A.** 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica. 118 p.
64. **Giner, G. J. F.** 2004. Las sustancias húmicas, incidencia en la fertilidad de los cultivos. *Agrícola Vergel*. 23 (269): 264-269.
65. **Gispert, J.** 2003. Influencia de la enmienda cálcico - magnésica en la producción y calidad de pradera natural de montaña con suelos ácidos. *ITEA*, 99(2), 196-207.
66. **Gómez, E.; Labrada, E.; Gómez, E.** 1998. Influencia de cinco tipos de abonos orgánicos en el contenido de N, P, K asimilables de un fluvisol típico. *Centro Agrícola*, 3: 55-60.
67. **González, V.** 2002. La práctica de la agricultura y ganadería ecológicas. Evaluación de la sostenibilidad agraria. Ed. C.A.A.E. 373-375 p.
68. **Goodland, R. y H. Daly.** 1996. Environmental sustainability: universal and nonnegotiable. *Ecological Applications* 6:1002-1017.
69. **Gordillo, C.** 1991. Estudio de la factibilidad de la utilización de la zeolita en el mejoramiento de los suelos oscuros plásticos dedicados a la caña de azúcar. Trabajo de Diploma. UCLV. Cuba. 39 p.

70. **Goya, Sonia Alejandra.** 1998. Propuesta para mejoramiento de la fertilidad de los suelos en el municipio Manicaragua. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Agricultura Sostenible, UCLV, Santa Clara, Cuba.
71. **Gutiérrez, Carmen; Etchevers, J.; Castillo, R. F.; Bautista, Angélica.** 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13:2 (mayo –agosto); 90 – 97p. En [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/verColeccion/params/id/14601.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/verColeccion/params/id/14601.html). Consultado 8 de abril de 2010.
72. **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.
73. **Hernández, A.** 2006a. Curso: Fundamento sobre la formación del suelo cambios globales y su manejo. CD: INCA. Habana. Cuba.
74. **Hernández, A., Ascanio, M. O., Morales, Marisol, y Cabrera, A.** 2005. Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: Una herramienta útil para la Investigación, Docencia y Producción Agropecuaria. INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS (INCA). 62 p.
75. **Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., Rivero, L.** 1999. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Edit. AGRINFOR, Ciudad Habana. 64p.
76. **Hernández, A; Ascanio, M. O.; Morales, Marisol y León, A.** 2006. La historia de la clasificación de los suelos en Cuba. Editorial Félix Valera. La Habana, Cuba. 98 p. ISBN: 959-07-0145-0.
77. **Hernández, Mariela.** 1988. Efecto a largo plazo de la aplicación de la cachaza sobre la estructura de un suelo Oscuro Plástico y su relación con el rendimiento de la caña de azúcar. Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 52p.
78. **Hernández, Reina Evelyn.** 1987. Efecto del residual cachaza sobre las características químicas y microbiológicas de un suelo Oscuro Plástico y su influencia sobre el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* sp. híbrido). Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 42p.
79. **Hillel, D.** 1998. *Environmental Soil Physics*. Academy Press. London.



80. **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.
81. **Instituto de Suelos.** 1975. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Serie Suelos 23: 1 – 25.
82. **Islam, K. R. y R. R. Weil.** 2000. Soil quality indicator properties in mid – Atlantic soil as influenced by conservation management. J. Soil Water Conserv. ( Ankeny) 55: 69 – 78.
83. **Jaramillo, D. F.** 2002. Introducción a las ciencias del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias de Medellín, Colombia. 613 p.
84. **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.
85. **Kolmans, E y Vázquez, D.** 1999. Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos de su aplicación. Grupo de Agricultura Orgánica de ACTAF. Ciudad de la Habana. Cuba.148 p.
86. **La Zeolita: “El Mineral del Universo”. Sus beneficios en la Agricultura.** <http://www.soil-fertility.com/zeolite/espagnol/index.shtml>. Consultado el 25 de Marzo del 2007.
87. **Labrador, J.** 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Editorial Mundi Prensa. Madrid. España.
88. **Lal R. y Kimble, J.** 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Vol.49:243-253.
89. **LAMECA.** 2003. La caña de azúcar. [http://perso.wanadoo.fr/lameca/dossier/canne/index\\_esp.htm](http://perso.wanadoo.fr/lameca/dossier/canne/index_esp.htm). Consultado el 25 de Marzo del 2007.
90. **Lewasdowski, A., M. Zumwindle y A. Fish.** 1999. Assesing the soil system: A review of soil quality literature. Minesota Departament of Agriculture, Energy and Sustainable Agriculture Program, St Paul, MN.
91. **López, G.; Fuentes, E. y Vázquez, H.** 1981. Resumen sobre los elementos fundamentales que deben ser redactados en cada epígrafe del informe de suelos por municipio a escala 1:25 000. Dpto. de Suelos y Agroquímica. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. MINAGRI.



92. **López, R. A.** 1997. El mejoramiento de la agricultura mediante la biodegradación controlada de los residuos agroindustriales. Servitecnia. S. A. Costa Rica. (En prensa).
93. **Maccio, J.** 2007. Aprovechamiento un fertilizante alternativo. Disponible en [http://www.engormix.com/aprovechamiento\\_un\\_fertilizante\\_alternativo\\_s\\_articulos\\_126\\_7\\_AGR.htm](http://www.engormix.com/aprovechamiento_un_fertilizante_alternativo_s_articulos_126_7_AGR.htm). Consultado el 25 de mayo de 2007.
94. **Machado, J. et, al.** 1991. Evaluación del efecto del riego con aguas residuales del CAI Hermanos Amejeiras sobre algunas características químicas de un suelo pardo sin carbonato. Taller provincial de estudio y aplicación de las zeolitas. Resúmenes, Fac. C.A., UCLV, Cuba.
95. **Magdoff, F.** 1997. Calidad y manejo del suelo. Base científica para una agricultura sustentable. Consorcio Latinoamericano sobre agroecología y desarrollo. Grupo gestor Aociacion Cubana de la Agricultura Orgánica. La Habana. Cuba. 211 p.
96. **Masto, E. R.; Chonkar, P. K.; Singh, D.; Patra, K. P.** 2007. Soil quality response to long-term nutrient and crop manogenent on semi-arid Inceptisol. Agriculture, Ecosistem. No 118. p 130-142.
97. **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].
98. **Meyer, J. H., Van Antwerpen R. y Meyer, E.** 1996. A review of soil degradations and management research under intensive sugar cane cropping. Proc. S. Afr. Sug. Tech. Ass. 70: 22 – 28.
99. **Miliarium Aureum, S. L.** 2004. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO. Disponible en [www. Miliarium.com](http://www.Miliarium.com). consultado el 16 de noviembre del 2008.
100. **Montesinos, C.** 1998. La fertilidad en la agricultura orgánica. Chile Agricola. 235: 247-251.
101. **Moyo, C. S., Frost, P. G. y Campbell, B. M.** 1998. Modification of soil nutrients and micro-climate by tree crowns in a semiarid rangeland of south-western Zimbabwe. Afr. J. Range For. Sci. 15:16 – 22.
102. **Mundaca, R.** 2010. AGRICULTURA INDUSTRIALIZADA Y CAMBIO CLIMÁTICO. Publicado el 12 de febrero de 2010 por [CEPRID](http://www.ceprid.org) en <http://www.nodo50.org/ceprid/spip.php?article728>. Consultado 8 de abril de 2010.

103. **N'Dayegamiye, A. et al.,** 1997. Nitrogen mineralization and availability in manure compost, Of shavin and peat moss. Canadian Journal of Soil Sci. 345 – 350 p.
104. **Noval, E. 2000.** Importancia de la integración del árbol en la fertilidad de los suelos pecuarios. Tesis de Maestría. UCLV. Santa Clara, Cuba.
105. **NSSC, SQI, NRCS, USDA y NSTL.** 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C.: Soil Quality Institute.
106. **Nuñez, F. S.; Fraga, Roselia; Jova, Zaida y Suárez, Antonia.** 1994. Algunos de los minerales que se pueden ofertar para investigaciones en la agricultura. Empresa Geólogo – minera del Centro. Grupo de Agromateriales.
107. **Papp, J.** 1988. improvement in the magnesium supplí of apple orchords using dolomite. Acta Agronomica – Hugórica.
108. **Parr J. y Papendick, R.** 1997. Soil quality. Relationships and strategies for Sustainable dryland faming systems. Annais of Arid Zone 36:181-191.
109. **Pedraza, A.** 2005. Estudios sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos Oscuros Plásticos. (36 meses después de aplicados). Tesis Presentada en Opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 83p.
110. **Pequeño, J.** 1966. Agroquímica. Tomo I. Ed. Universitaria. La Habana. Cuba.
111. **Pérez, A.** 1997. Sustitución de fertilizantes minerales por materia orgánica en la producción de semillas de *Rhodes callida*. Trabajo presentado en III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica, Santa Clara, Cuba.
112. **Pérez, D. de la C.** 1993. Estudio de la resistencia genética al carbón en variedades de caña de azúcar. Tesis de Maestría. Colegio de Postgrados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Centro de Genética, Montesillo, México: 67 p.
113. **Pérez, E. D.** 2000. Características químicas de los suelos bananeros de la línea noroeste de República Dominicana. Fersan, C. x A. Musa Doc 2000: ISBN: 2-910810-39-9.
114. **Plagiai, M., Vignozzi, N y S. Pellegrini. 2004.** Soil structure and the effect of management practices. Soil Till. Res. 79: 131 – 134.

115. **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.
116. **Quiroga, A; Ormeño, O y Peinemann, N.** 2005. Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos.
117. **Ramírez, Laura.** 2001. Indicadores de sostenibilidad para el manejo de los suelos agrícolas. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes. Centro de Convenciones Plaza América del 11 al 16 de Noviembre de 2001. Sociedad Cubana de Ciencia del Suelo. ISSN: 1609 -1876. p. 64.
118. **Reeves, D.** 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43:131-167.
119. **Reyes, A.** 2006. Indicadores de calidad de suelo en áreas cafetaleras de Topes de Collantes. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. UNIVERSIDAD CENTRAL "Marta Abreu" DE LAS VILLAS. Santa Clara. 95 p.
120. **Ríos, Heledys.** 2010. Manejo Ecológico de los Suelos Pardos Grisáceos, experiencia de veinte años. Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 67 p.
121. **Rodríguez, Alianny.** 2006. Efecto de la aplicación de diferentes combinaciones organo-minerales sobre la calidad del suelo pardo con carbonatos y el rendimiento del banano, cultivar FHIA – 18 en un sistema extradenso. Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas. 90 p.
122. **Rodríguez, I.** 2007. El cultivo continuado de la caña de azúcar y su influencia sobre algunas propiedades químicas de un suelo Pardo Sialítico, bajo diferentes regímenes de cobertura y fertilización. Tesis en opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
123. **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.



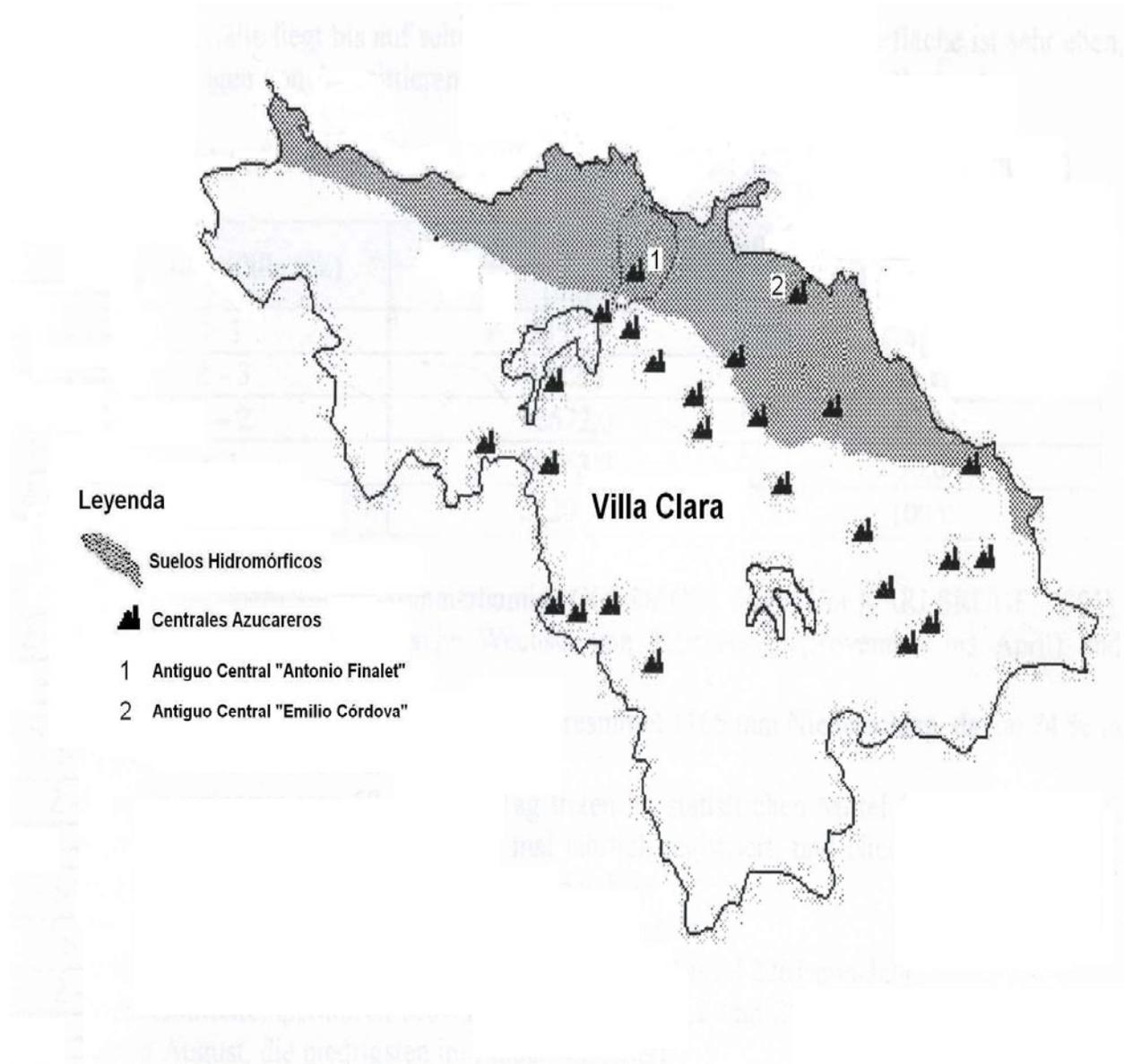
124. **Romig, D, Garlynd, M, Harris, R y McSweeney, K.** 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
125. **Schimel D., M. Stillwell, R. Woodmansee.** 1985. Biochemistry of C, N, and P in a soil catena of the shortgrass steppe. *Ecology* 66:276-282.
126. **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.
127. **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.
128. **Soil Survey Staff.** 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA, Night Edition, 332p.
129. **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.
130. **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.
131. **Stenberg, B.** 1998. Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions. *Biology and Fertility of Soils* 27:104-112.
132. **Stevenson, F.** 1994. *Humus Chemistry, Composition, Reactions*. J. Wiley and Sons. New York.
133. **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 en opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. 65 p.
134. **Torstensson, L; Pell, M; Stenberg, B.** 1998. Need of a Strategy for Evaluation of Arable Soil Quality. *Journal Ambio* 37: 4 – 8 p.
135. **Treto, Eolia.; García, Margarita.; Martínez, R y Febles, J. M.** 2005. Avances en el manejo de los suelos y la nutrición orgánica. En *transformado el campo cubano. Avances de la Agricultura Sostenible*. ACTAF, Food Firth, CEAS. La Habana, p.167-190. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org>. (Consultado 11 de junio 2005).



136. **Tschirley, J. B.** 2005. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible. Tomado 11 de octubre, 2004, de [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/004/W4745S/w4745s16.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/004/W4745S/w4745s16.htm)
137. **Uranga, J. y Erburu, J. A.** 1999. El compostaje. *Navarra Agraria*. 11(3): 56 – 64.
138. **Valdés, J.** 1997. *Procesos Agrarios en Cuba. 1959 – 1995*. Editorial Ciencias Sociales, La Habana, Cuba.
139. **Van Horn, M.** 2005. Compost production and utilización. A growers guide. Workshop proceedings “Agricultural use of compost”. Salinas June 13-14. España. 2003. Aprovechamiento de los residuos orgánicos: El compost.
140. **Vázquez, Lucrecia.** 2003. Estudios sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos Oscuros Plásticos. Tesis Presentada en Opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba. 67p.
141. **Vicente, C.** 2003. Origen de la materia orgánica 30 p.
142. **Vilariño, Susana.** 2000. Alternativas para el mejoramiento de los suelos pardos con carbonato con el uso de minerales naturales y abonos orgánicos. T. M; UCLV.
143. **Wander M. y Bollero, G.** 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63: 961 – 971.
144. **Zumaquero, O.** 2008. Conferencias de Economía y desarrollo rural. Maestría Agricultura Sostenible. Décima Edición. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Mapa del área en estudio.



**Anexo 2. Datos climáticos del área en estudio. Estación Agrometeorológica Sagua la Grande. Fuente ANEC VC 2008.**

Años	Temperaturas (°C)			Lluvia total	
	Máxima	Mínima	Medias	mm	Días con lluvia (u)
	Anual				
2002	29.8	20.9	25	990.5	113
2003	29.8	20.4	24.7	1053.7	139
2004	29.4	19.8	24.5	589.6	109
2005	29.4	20.1	24.5	1238.6	125
2006	29.3	19.3	24.3	1013.6	120
2007	29.3	20	24.5	1380.5	154

Años	Temperaturas (°C)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2002	21.8	22.4	24.0	24.9	26.4	26.8	27.4	27.3	26.4	26.1	24.1	22.6
2003	19.3	22.9	25.0	24.2	26.5	26.3	27.3	26.9	26.6	25.9	24.2	21.3
2004	20.5	22.8	22.4	23.4	-	27.7	27.2	27.5	27.1	25.4	23.4	21.6
2005	20.8	20.8	23.5	23.8	26.0	26.8	27.8	27.9	26.6	25.3	23.6	21.5
2006	21.1	20.2	21.6	23.7	25.3	26.6	27.1	27.0	26.6	25.8	22.6	24.0
2007	22.7	22.0	23.3	23.2	23.2	24.7	27.2	26.9	25.9	26.0	22.5	22.7

Años	Lluvia total (mm)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2002	4.6	36	30.2	2.5	203.6	99.7	29.1	219.8	215.3	45.3	90.4	14
2003	13.9	25.2	38.6	79.4	93.7	135	78.4	180.4	232.5	73.9	45.9	56.4
2004	16.6	14.9	65.4	22.3	-	67.8	89.6	106	84.1	98.1	17.4	7.4
2005	18.5	7.6	35.5	6.1	74.2	226.8	207.4	68.9	254.4	288.4	40.4	10.4
2006	37.4	24.8	3.3	18.2	139.6	80.6	251.1	94.8	94.6	97.7	51.2	120.3
2007	14.4	31.6	136.1	98.7	200	190.9	107.3	117.3	220.9	220.9	120.3	21.5

Años	Dirección y velocidad del viento		Humedad relativa (%)	Nubosidad media (en octavos)
	Dirección en 16 rumbos a/	Velocidad (km/h)		
2002	E	12.9	81	4
2003	E	3.4	81	4
2004	E	5.6	75	3
2005	NE	14	71	4
2006	E	7.1	75	3
2007	E	9.8	80	3

**Anexo 3. Perfil representativo del Suelo Gley Húmico.**





**Anexo 4. Categorías de evaluación de las propiedades del suelo.**

<b>Materia Orgánica (%)</b>	<b>Categoría</b>
< 1.5	Muy bajo
1.5 – 3.0	Bajo
3.1 – 5.0	Mediano
> 5.0	Alto

**Fuente: López et al., (1981)**

<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

**Fuente: Cairo, (2006)**

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

**Fuente: Cairo, (2006)**

<b>Agregados estables en agua (%)</b>	<b>Categoría</b>
> 70	Excelente
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
< 40	Malo

**Fuente: Cairo, (2006)**

**Anexo 5. Costos de abonos orgánicos, minerales naturales y fertilizantes químicos empleados (para 1 tonelada).**

<b>Fuente</b>	<b>MN</b>	<b>USD</b>
<b>Cachaza</b>	7	-
<b>Compost</b>	40	-
<b>Zeolita</b>	25	-
<b>Dolomita</b>	32	-
<b>N</b>	-	340
<b>P2O5</b>	-	460
<b>K2O</b>	-	180
<b>NPK (100-60-200)</b>	-	97.6
<b>NP (100-60-0)</b>	-	61.6
<b>N (0-60-0)</b>	-	34