

**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE COMPOST EN LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO *TYPIC HAPLUSTOLLS* CULTIVADO CON
CAÑA DE AZÚCAR**

**JUAN ANDRÉS HURTADO SILVA
CÓDIGO: 0632336**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2011**

**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE COMPOST EN LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO *TYPIC HAPLUSTOLLS* CULTIVADO CON
CAÑA DE AZÚCAR**

**JUAN ANDRÉS HURTADO SILVA
CÓDIGO: 0632336**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Agrícola

**Directora
Jenny Alexandra Rodríguez Victoria
Profesora Asociada Doctora en Ingeniería**

**Codirector
Germán Rueda Saa
Ingeniero Sanitario MSc**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2011**

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, Septiembre de 2011

DEDICATORIA

***A mi madre, mis hermanas Mónica, Yesenia, Yulieth, mi sobrino Nicolás
y mi novia Silvia***

*Por su apoyo constante e incondicional en todos los momentos de mi vida.
Ustedes son lo más lindo de este mundo, los amo.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por su compañía en mi vida, por darme fortaleza y sabiduría para superar las dificultades y la oportunidad de culminar con éxito esta gran empresa de realizar mis estudios en Ingeniería Agrícola.

A Jenny Alexandra Rodríguez Victoria. Directora del proyecto de grado. Por su excelente colaboración, respaldo y guía.

A Germán Rueda Saa. Codirector del proyecto de grado. Por su gran colaboración, sus enseñanzas, dedicación y su amistad.

A la Universidad del Valle y a los docentes que hicieron parte de mi proceso de aprendizaje y formación como profesional. Por sus valiosas enseñanzas.

A la Hacienda San Lucas Barona y sus representantes por brindar información y el espacio para lograr los objetivos del proyecto.

A los laboratorios del CIAT y LASA de la Universidad del Valle por brindar el espacio y los equipos necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

A los evaluadores del proyecto de grado. Por su responsabilidad y compromiso en la revisión del manuscrito.

A mi Madre, mis hermanas Mónica, Yesenia, Yulieth, mi sobrino Nicolás, mi novia Silvia y a toda mi familia por su ayuda, por estar siempre a mi lado dándome fuerza para salir adelante.

CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN	10
2. INTRODUCCIÓN	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo General	12
3.2. Objetivos Específicos.....	12
4. MARCO REFERENCIAL	13
4.1 EL SUELO	13
4.2 SUELOS MOLISOLES	14
4.3 PROPIEDADES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS	16
4.3.1 Propiedades Físicas	16
4.3.2 Propiedades Químicas.....	20
4.4 INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES EN LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELOS AGRÍCOLAS.....	26
4.4.1 Uso de Fertilizantes Minerales y Enmiendas Orgánicas.....	26
4.4.2 El Compost utilizado como Enmienda Orgánica	27
4.5 LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE DEL CAUCA	29
4.5.1 Historia.....	29
4.5.2 Tipos de Fertilizantes.....	30
4.5.3. Ciclo del Cultivo de la Caña de Azúcar	30
4.5.4. Prácticas Agronómicas de la Caña de Azúcar	31
5. METODOLOGÍA.....	32
5.1 LOCALIZACIÓN	32

5.2 COMPOST	32
5.3 TRATAMIENTOS	33
5.4 UNIDAD EXPERIMENTAL	33
5.5 MUESTREO INICIAL	35
5.6 MUESTREOS EN EL TIEMPO	35
5.7 DISEÑO EXPERIMENTAL	36
5.8 ANÁLISIS DE DATOS	37
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	38
6.1 MUESTREO INICIAL DEL SUELO TYPIC HAPLUSTOLLS	38
6.2 CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST	38
6.3 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.	39
6.3.1 Propiedades químicas	39
6.3.2 Análisis de las propiedades físicas del suelo	47
7. CONCLUSIONES	53
8. RECOMENDACIONES	54
9. BIBLIOGRAFÍA	55
10. ANEXOS	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1 Tratamientos Aplicados.....	33
Tabla 5.2 Variables Químicas caracterizadas y método de análisis	35
Tabla 5.3 Variables físicas y químicas del suelo y método de determinación	37
Tabla 6.1 Muestreo Inicial	38
Tabla 6.2 Caracterización Inicial del Compost.....	38
Tabla 6.3 Análisis de varianza para las variables de respuesta químicas	40
Tabla 6.4 Comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con la profundidad	41
Tabla 6.5 Comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con el tratamiento.....	43
Tabla 6.6 Comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con el muestreo	46
Tabla 6.7 Análisis de varianza para las variables de respuesta físicas	49
Tabla 6.8 Comparaciones de Duncan entre Tratamientos para variables físicas ..	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Triángulo de Textura de Suelo.....	19
Figura 4.2 Clasificación del Suelo por su pH	23
Figura 4.3 Proceso de obtención del Compost	28
Figura 5.1 Localización Zona de Estudio	32
Figura 5.2 Unidad Experimental.....	34
Figura 5.3 Área de Estudio	34
Figura 5.4 Toma de Muestras	36
Figura 6.1 Análisis de la fuente de variación Profundidad	42
Figura 6.2 Análisis de la fuente de variación Tratamiento	44
Figura 6.3 Análisis para la fuente de variación Muestreo	47
Figura 6.4 Análisis Fracción Granulométrica	50
Figura 6.5 Análisis densidad real, densidad aparente y porosidad	50
Figura 6.6 Análisis diámetro medio ponderado.....	51

ANEXOS

Anexo 1 Gráfica aplicación de Tratamientos.....	62
Anexo 2 Análisis de Laboratorio.....	62
Anexo 3 Resultados propiedades Físicas.....	66
Anexo 4 Análisis estadístico realizado con el programa SAS.....	67

1. RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la aplicación de compost sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo *Typic haplustolls* cultivado con caña de azúcar, se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo en parcelas sub-divididas en el tiempo, el estudio está conformado por tres tratamientos de compost 6, 12 y 18 ton.ha⁻¹, un tratamiento con manejo convencional (fertilización mineral Urea + KCL), y un testigo. Para cada uno de los tratamientos se realizaron tres repeticiones, que representan un esquema conformado por 15 unidades experimentales, los tratamientos se aplicaron una sola vez al inicio del experimento. El compost utilizado en la investigación es derivado a partir de la cachaza, el bagazo y la vinaza residuos agroindustriales generados a partir de la producción de azúcar y alcohol. La caracterización química (pH, materia orgánica, capacidad de Intercambio Catiónico, Fosforo, Potasio) se realizó a los 30 y 200 días después de la aplicación de los tratamientos, se tomaron muestras a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-40cm). La caracterización física (Textura, Densidad aparente, densidad real, porosidad, estabilidad de agregados) se realizó en la capa superficial del suelo (0-10cm) a los 200 días. Para la fuente de variación **profundidad** de muestreo se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) para las variables respuesta M.O, pH, Fósforo y potasio, lo que indica un efecto de los tratamientos sobre estas propiedades; mientras que para la C.I.C no se encontró diferencia estadísticamente significativa. Para la fuente de variación **tratamiento** hay diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en las variables respuesta M.O, pH, y fósforo, mientras que para el potasio con un $P\text{-valor} = 0.187 > 0.05$ y para la C.I.C con un $P\text{-valor} = 0.053 > 0.05$ no existe evidencia de que el tipo de tratamiento influya de manera significativa en estas dos propiedades. En la fuente de variación **Muestreo** existe diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en las propiedades M.O, pH, fósforo y potasio, menos para la propiedad CIC cuyo $P\text{-valor}$ es $0.100 > 0.05$. El tratamiento C1 (6 ton.Ha⁻¹) presentó el promedio de M.O (42.06 g.kg⁻¹) más alto respecto a los demás tratamientos aplicados como también la mas alta C.I.C (19.98 cmol.kg⁻¹) y el pH (7.45) más bajo en las tres profundidades evaluadas y tanto en el primer muestreo (30 días) como en el segundo (200 días), por su parte el tratamiento con manejo convencional (urea + KCL) comparado con los demás tratamientos presentó el promedio de M.O más bajo (35.47 g.kg⁻¹), el pH más alto (7.8), el fósforo más bajo (51.24 mg.kg⁻¹), el potasio más bajo (0.27 cmol.kg⁻¹) y C.I.C más baja 18.37 (cmol.kg⁻¹). En el análisis de los resultados de la caracterización física para la fuente de variación **tratamiento** se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) para la variable respuesta limo (%), mientras que para las demás variables densidad aparente, densidad real, porosidad, estabilidad de agregados, % de arcilla y % arena no se encontraron diferencias significativas por el tipo de tratamiento.

2. INTRODUCCIÓN

En el Valle del Cauca se tienen 205.664 hectáreas de cultivos de caña, los cuales en su gran mayoría están bajo los sistemas de producción convencional (Asocaña, 2009), estos suelos han venido presentando procesos de deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas como consecuencia de las prácticas agronómicas del monocultivo de la caña de azúcar, que involucra entre otras la quema, la aplicación de agroquímicos realizadas por décadas, y la inapropiada mecanización con equipos pesados (Ruiz, 1999).

La práctica del uso de los abonos orgánicos es un factor de considerable influencia en el mantenimiento y aumento de los rendimientos agrícolas con el fin de abastecer la creciente demanda en alimentos de la población mundial. La aplicación de abonos orgánicos es una práctica tradicional en el Valle del Cauca, si bien potencialmente la incorporación al suelo de residuos orgánicos puede llegar a tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, no en todos los casos esto se cumple e inclusive el efecto puede ser perjudicial. Cuando se incorporan residuos orgánicos frescos o en proceso incipiente de biodegradación al suelo, el orden natural, conlleva a que se cumplan las transformaciones de mineralización. En algunos casos, se terminan favoreciendo los procesos anaerobios, con la consiguiente acidificación, movilización y pérdidas de nutrientes (Sztern y Pravia 1999).

El abono compostado (compost) es una composición industrial que procesa los residuos orgánicos generados de la producción de azúcar y alcohol, transformándolos en un producto estable e higienizado aplicable en la agricultura como abono orgánico (Zurro, 2005); es ampliamente utilizado para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, como la estructura del suelo, estimula su actividad microbiana, incrementa su contenido en carbono y añade nitrógeno y otros nutrientes al mismo. A pesar de sus ventajas, su utilización no está exenta de riesgos, derivados principalmente del uso de M.O no estabilizada. Los principales riesgos son: la reducción de oxígeno radicular, la producción de compuestos fitotóxicos en el suelo o la inmovilización del nitrógeno por los microorganismos en enmiendas con alta relación carbono y nitrógeno (C/N) (Rosal et al., 2008).

Considerando que en la actualidad se hace énfasis en la necesidad de establecer prácticas que permitan mantener el nivel de productividad de los suelos agrícolas, incrementar la producción agrícola y preservar los ecosistemas en el tiempo, se hace necesario investigar el efecto de diferentes dosis de compost en las propiedades físicas y químicas de los suelos cultivados con caña de azúcar.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de la aplicación de diferentes dosis de compost de residuos de la caña de azúcar en las propiedades físicas y químicas de un suelo *typic haplustolls* cultivado con caña de azúcar

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las propiedades físicas y químicas de un suelo Typic Haplustolls cultivado con caña de azúcar
2. Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de compost sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo Haplustolls cultivado con caña de azúcar

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 EL SUELO

Han existido diversos conceptos acerca del suelo y existen evidencias de que en diferentes lugares y épocas el hombre tuvo más de una concepción cuando pensó en el suelo. La definición de suelo, al igual que los sistemas taxonómicos, cambia a medida que el conocimiento sobre el recurso aumenta o se transforma (Cortez, 1976).

USDA (2006) define el suelo como un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y M.O), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio, con horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural.

El suelo puede ser visto como un medio de soporte para el crecimiento de las plantas, como materia básica del universo, como un manto de roca suelta e intemperizada, o como un cuerpo natural organizado. Según Plaster (2000) el suelo es una capa de material de soporte de vida muy delgada y a menudo frágil, que proporciona a plantas y animales los recursos que necesitan. Los seres vivos incluso las plantas necesitan una temperatura adecuada, oxígeno, agua, carbono y otros nutrientes, estos factores se intercambian en el suelo normalmente en ciclos que permiten a los elementos reciclarse.

El material inicial del suelo es la roca madre o material parental formado a raíz del enfriamiento de la corteza terrestre, su desintegración se realiza por la acción de una o varias fuerzas: químicas (hidrólisis, oxidación), biológicas (acción de micro y macro-organismos) y físicas (cambios de temperatura, acción del agua entre otras), estas fuerzas resultan de la contribución de factores como el clima, relieve y seres vivos (Salamanca, 1999).

Burbano (1989) determina el suelo como un sistema de tres fases; la fase sólida que está compuesta de partículas inorgánicas y orgánicas, las inorgánicas contienen nutrientes catiónicos tales como K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} y Cu^{+2} , mientras que las partículas orgánicas proporcionan la principal reserva de N y en menor grado de P y S; la fase líquida del suelo o solución del suelo es responsable principalmente por el transporte de los nutrientes, estos nutrientes están presentes principalmente en forma iónica, aunque el O_2 y el CO_2 también están disueltos en la solución del suelo; y la fase gaseosa del suelo que facilita el intercambio gaseoso que ocurre entre los numerosos organismos vivientes del suelo (raíces de las plantas, bacterias, hongos y animales) y la atmósfera. Este

proceso da como resultado el suministro de O_2 a los organismos vivos del suelo, así como la remoción de la atmósfera del suelo del CO_2 producido por la respiración.

Porta (1994) plantea que la fase sólida está formada por componentes inorgánicos, partículas coloidales como arcillas, partículas minerales como cuarzo, silicatos, óxidos de Mg, Al, Ti, Zn y carbonatos, especialmente de calcio y componentes orgánicos (animales y vegetales en descomposición, humus) que dejan un espacio de poros en el que se halla la fase líquida, que puede llevar iones y sustancias en solución o en suspensión y la fase gaseosa, compuesta principalmente por oxígeno y dióxido de carbono; en los poros se encuentran también las raíces y organismos que viven en el suelo. Todo esto le da al suelo sus propiedades físicas y químicas y determina su capacidad de adsorción.

La dinámica de las comunidades biológicas está directamente relacionada con el soporte abiótico, donde se cuenta con un componente en común que es el de la evolución. La estructura abiótica del suelo puede entenderse como un sistema abierto, susceptible de evolucionar, en ocasiones hacia estados más complejos, o hacia formas menos diferenciadas cuando las condiciones modifican el medio. En definitiva, el suelo puede considerarse como un sistema que se acerca o se aleja del equilibrio y que su funcionamiento está relacionado con el dinamismo de la corteza terrestre, derivado de los procesos biogeoquímicos que en ella tienen lugar (López, 1995).

Cuando los materiales de la corteza terrestre entran en contacto con la atmósfera, sufren una serie de transformaciones fisicoquímicas para alcanzar un equilibrio estable con el ambiente, aparece el concepto de edafósfera como la interfase litosfera-atmósfera-biosfera, que tras los procesos de alteración conducen a la formación de un sistema que se auto organiza originando una serie de capas u horizontes que constituyen el pedón (Cobertera, 1993).

Por tanto, son el aire, el agua y el suelo los vehículos que transportan la vida, aunque también son los elementos que la naturaleza utiliza para transportar su alteración, todos son imprescindibles, pero quizás sea el suelo quien mejor representa la conjunción de un espacio vital, por lo que constituye un elemento decisivo en la valoración de los riesgos ambientales, tanto por ser un sistema en el que se desarrolla vida, como por ser almacén de nutrientes y también un depósito de contaminantes (López, 1995).

4.2 SUELOS MOLISOLES

Los Molisoles son suelos minerales que tienen un epipedón mólico, formado bajo una vegetación herbácea de gramíneas en climas templados de subhúmedos a semiáridos. Son suelos de colores oscuros en su parte superior, ricos en bases y

bien estructurados (Porta, 1994). Estos suelos presentan condiciones propicias de fertilidad tanto actual como potencial, tendencia a la neutralidad, contenidos relativamente altos de P asimilable y presencia variable de carbonatos y sales principalmente en función de la precipitación efectiva (Malagón, 1995).

USDA (1999) establece que los suelos molisoles son extensos en zonas subhúmedas a semiáridas en las llanuras de América del Norte, Europa, Asia y América del Sur. Se encuentran generalmente entre los Aridisoles de climas áridos y el Spodosoles o Alfisoles de climas húmedos. Se caracterizan por presentar en la superficie un horizonte relativamente grueso, de color oscuro, rico en humus.

En el Valle del Cauca predominan los Molisoles de clima seco, conocidos como Haplustolls, son suelos profundos, bien drenados y no presentan características asociadas con humedad tales como moteados o concreciones de hierro o manganeso mayores de 2 mm de diámetro. De acuerdo con la extensión que ocupan las series más importantes en la región son Manuelita, Palmira, Nima, Guadalito, Florida y Rio Cauca (Guerrero, 1991).

Los suelos JORDÁN. Typic Haplustolls pertenecen a la familia francosa fina, mezclada, activa, isohipertérmica (Perfiles CC 167, CC643 y CC732). Estos suelos presentan una secuencia de horizontes A-B-C de texturas arcillo limosa, franco arcillo limosa, franca y franco limosa, el horizonte A tiene entre 25 y 40 cm de espesor, color negro, pardo muy oscuro, gris muy oscuro o pardo grisáceo muy oscuro, la estructura de estos suelos es en bloques subangulares moderados, finos y medios (IGAC, 2004)..

Los resultados de los análisis químicos indican que son suelos de reacción ligera a moderadamente alcalina, la capacidad catiónica de cambio en el horizonte superficial es alta y media en los subsuperficiales, el calcio y el magnesio son altos. El potasio es alto en el primer horizonte y medio a bajo en los demás horizontes. La fertilidad calculada para los primeros 50 cm es alta. Según los resultados de las determinaciones físicas, estos suelos tienen moderada retención de humedad, densidad real baja a media, densidad aparente media a alta, alta porosidad total con predominio de la microporosidad; el índice de plasticidad es alto en el primer horizonte, y la permeabilidad es moderada (IGAC, 2004).

En estos suelos la presencia del epipedón mólico, de endopedón cámbico, la alta saturación de bases, el régimen de humedad ústico, las texturas moderadamente finas, la presencia de varios minerales sin dominancia de alguno de ellos y el régimen de temperatura isohipertérmico, fueron las principales características que se tuvieron en cuenta para la clasificación taxonómica de estos suelos (IGAC, 2004).

4.3 PROPIEDADES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

La roca madre gracias a la alteración producida por procesos geoquímicos y bioquímicos, es la que suministra inicialmente la fracción mineral del suelo. Parte de esa fracción mineral constituye el conjunto de iones indispensables para la alimentación vegetal y otra parte las formas minerales de neoformación (arcillas). Simultáneamente, se desarrolla el proceso de humificación o descomposición y transformación de la materia orgánica depositada en la superficie del suelo que permite la alimentación de los microorganismos edáficos y que es la fuente de la propia actividad bioquímica (Plaster, 2000).

El suelo exhibe una serie de propiedades fundamentales que se derivan de sus propios componentes, de las interacciones de los mismos y de la génesis de ese suelo, además su manejo tendrá algún efecto sobre las propiedades del suelo (Burbano, 1989).

4.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas deben ser entendidas en conjunto, interdependientemente y formando un todo armónico, ya que entre ellas se establece una íntima relación. Las características físicas del suelo pueden ser divididas en dos grupos: 1) fundamentales (color, textura, estructura, consistencia, densidad y la temperatura y 2) derivadas (la porosidad, la profundidad efectiva radical) (Montenegro y Malagón, 1990). Dentro de los procesos de transporte que se presentan en el suelo son de gran interés para la agricultura el movimiento del agua, la renovación constante del aire, el movimiento de solutos y la transmisión de calor.

Se deben tener en cuenta las propiedades físicas del suelo para realizar prácticas agrícolas como la preparación del terreno para la siembra, la selección del método de riego más adecuado para cada tipo de suelo, la determinación de láminas de riego, la recuperación de suelos afectados por sales, sodio, iones tóxicos para las plantas y prácticas de conservación de suelos (Narro, 2004).

Los suelos presentan distintas evoluciones en función de su drenaje, capacidad de almacenamiento hídrico, y mayor o menor capacidad de oxigenación, entre otras. Estas propiedades físicas representan el estado del agua y del aire en el suelo, considerándose óptimo aquel suelo que no se encharca, pero que tiene una elevada retención hídrica y al mismo tiempo una buena aireación (Porta, 1994).

Estructura del Suelo

La estructura de un suelo es el modo que tienen los elementos constituyentes del suelo de unirse entre sí, de tal forma que le confieren una arquitectura

característica. La distribución de los materiales que constituyen el suelo, no es homogénea y según evoluciona el suelo, pasa de ser superficial al principio hasta hacerse cada vez más profunda, destacándose así extractos sucesivos de color, texturas y estructuras diferentes denominados horizontes (Cobertera, 1993). Las capas u horizontes de un perfil del suelo no siempre están bien diferenciados y definidos, y su profundidad generalmente varía. En la parte superior del horizonte A se encuentra el lecho conformado por residuos orgánicos sueltos y poco descompuestos, luego aparece la zona de humus crudo; el humus es una mezcla de sustancias oscuras fruto de la descomposición de los residuos vegetales o de la síntesis hecha por varios organismos del suelo. El horizonte B es una zona de acumulación (iluvial), formada especialmente por arcillas silicatadas y compuestos de Fe y Al. En el horizonte C se encuentra la roca madre que dió origen al suelo (Salamanca, 1999).

Montenegro y Malagón (1990) reportan que la formación de la estructura debido a la agregación y porosidad resultante favorece el intercambio gaseoso, facilita la retención de humedad y modifica eventualmente las características texturales, favorable o desfavorablemente, de acuerdo con el manejo que se da al suelo. Las partículas elementales arcilla, limo y arena que constituyen las diferentes fracciones texturales pueden cementarse para constituir un agregado elemental ("ped") que puede seguir evolucionando a unidades mayores (Chirinos, 2007).

Una buena agregación del suelo es importante para la conservación y eventualmente el reciclaje de nutrientes por minimización de la erosión. Los aportes orgánicos y la materia orgánica del suelo son el centro de la formación y estabilidad de la estructura del suelo, aunque también son importantes la textura, mineralogía, y la actividad biológica (Chirinos, 2007).

Labores de labranza y eliminación de la vegetación de forma inadecuada reducen el diámetro medio de los agregados del suelo, resultando en un incremento de la densidad aparente, disminución de la aireación y conductividad hidráulica y en un aumento de la erodabilidad (FAO, 2000).

Textura del Suelo

Malagón (1995), define la textura como la propiedad física que resulta de integrar los porcentajes de las fracciones arena, limo y arcilla. De acuerdo al predominio de una u otra fracción podrá establecerse la fertilidad potencial, grado de evolución, aspectos genéticos y características químicas asociadas. Adicionalmente la textura de un suelo se asocia con la aireación, el movimiento del agua, la retención de humedad, la retención de aniones y cationes y la disponibilidad de nutrimentos, lo que determina en gran parte la productividad, uso y manejo de los suelos (Rodríguez, 2002).

La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de retención de estos metales, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar las aguas subterráneas (Pineda, 2004).

Conocer la clase textural a la que pertenece un suelo, permite hacer una deducción aproximada de las propiedades generales del suelo y así ajustar las prácticas de manejo, labranza, riego y fertilización, a fin de obtener mayor eficiencia en la producción agrícola. La textura puede ser determinada en campo mediante el método organoléptico o del tacto y en laboratorio, mediante el análisis mecánico o granulométrico, el cual se puede realizar por tres métodos basados en la ley de Stokes: 1) método de la pipeta; 2) método del hidrómetro y 3) método de centrifugación. El análisis mecánico consiste en la separación y cuantificación de las partículas de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo y en la consulta del triángulo de texturas, utilizando el método de tamices y el de sedimentación de partículas (Narro, 2004).

Además de los tres grupos texturales fundamentales o generales de suelos existen subgrupos que forman mas o menos una relación graduada de suelos que van desde los de textura gruesa y fácil laboreo hasta aquellos de arcillas pesadas difíciles de trabajar. Los nombres de estas texturas no solo reflejan la distribución del tamaño de las partículas minerales, sino también las características de laboreo y otras propiedades físicas como la permeabilidad y porosidad (Salamanca, 1999). Como puede observarse en la Figura 4.1 el triángulo de texturas muestra los porcentajes de arcilla (partículas menores de 0,002 mm), limo (de 0.002 a 0.05mm) y arena (de 0.05 a 2.0 mm) para los principales tipos de texturas.

Densidad Aparente

Es la densidad del suelo que se calcula teniendo en cuenta el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra de suelo, por lo cual depende de la organización que presente la fracción sólida del mismo y está afectada principalmente por la textura, estructura, contenido de materia orgánica, humedad (en especial en suelos con materiales expansivos) y su grado de compactación. Esta propiedad es útil para calcular la porosidad total del suelo y para convertir el porcentaje en peso de agua a porcentaje en volumen, también se usa para la estimación de fertilizantes. En fertilidad se utiliza para calcular la masa de capa arable y en riegos, para calcular la lámina de agua (Jaramillo, 2001).

Un valor alto de densidad aparente (D_a) es un indicativo de la compactación del suelo por tanto, de la dificultad para penetrar y desarrollarse el sistema radical. La densidad aparente se puede determinar por varios métodos, entre ellos, el terrón

parafinado, método del cilindro, y el método del terrón de arena (Montenegro y Malagón, 1990).

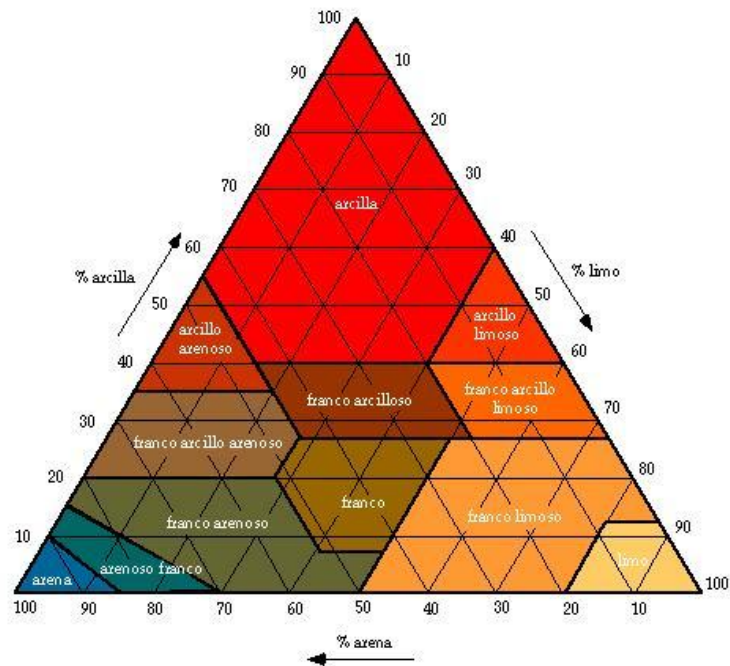


Figura 4.1 Triángulo de Textura de Suelo

Fuente: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm>

Narro (2004) define la densidad aparente como la relación entre la masa de los suelos y el volumen total que estos ocupan, es decir, se incluye el espacio poroso existente entre las partículas sólidas. El valor varía de 1.0 g.cm^{-3} en suelos arenosos, orgánicos y bien estructurados, hasta alrededor de 1.8 g.cm^{-3} en suelos arenosos compactados. Un incremento en el valor de la densidad aparente de los suelos se refleja en la disminución del espacio poroso y en el incremento de la conductividad térmica y de la resistencia del suelo a la penetración. El incremento de la densidad aparente puede ser causado por la reducción en el contenido de M.O del suelo por la degradación de los agregados o por la aplicación de una fuerza que reduzca el espacio poroso.

Densidad Real

La densidad real es el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización en el mismo, es decir, sin involucrar el volumen del espacio ocupado por los poros; es dependiente de la composición mineral del suelo y del contenido de algunos sólidos especiales presentes en él, como la materia orgánica y los óxidos de hierro (Jaramillo, 2001).

Dentro de la fracción mineral se presentan variaciones entre 2.00 y 5.00 g.cm⁻³ para arcillas hidratadas. Para los minerales más comunes del suelo se acepta un valor promedio de 2.65 g.cm⁻³. La presencia de óxidos de hierro y varios minerales pesados incrementa el valor promedio de la densidad, especialmente si la cantidad de M.O es baja. La densidad real de los materiales orgánicos varía entre 1.3 y 1.5 g.cm⁻³ como en el caso del humus. La densidad real de las partículas del suelo se utiliza para calcular la velocidad de sedimentación en el análisis mecánico, en los estudios de sedimentación y erosión y en la evaluación de la porosidad total del suelo (Montenegro y Malagón, 1990).

Porosidad

La porosidad total es el volumen del suelo que no está ocupado por sólidos y que se encuentra disponible para los líquidos y los gases (Jaramillo, 2001). La porosidad total se determina con base en la densidad real (D_r) y densidad aparente (D_a). Más importante que la porosidad del suelo es la relación existente entre macro y microporos, cuyo límite ha sido establecido en 60 μm . Algunos investigadores le dan más importancia a los macroporos, indicando que debe constituir las dos terceras partes de la porosidad total. Uno de los procesos que afecta negativamente a los macroporos es la degradación estructural, debido a prácticas deficientes de manejo, efecto que conlleva un aumento en los microporos y, a la vez, un decrecimiento de los poros encargados de difundir oxígeno a las raíces (Montenegro y Malagón, 1990).

Salamanca (1999) reporta que la cantidad de espacio poroso esta determinado por la colocación de las partículas sólidas, el contenido de materia orgánica y por la textura. Una alta porosidad del suelo es deseable para garantizar un adecuado desarrollo de las raíces de las plantas, para la actividad microbiana y para la humedad presente en el suelo.

En suelos arenosos el agua se mueve con rapidez a través de los macroporos pero se retiene poco, en suelos con texturas pesadas se presenta una situación opuesta. En suelos arcillosos la porosidad varía con la expansión, contracción, estado de agregación, compactación y agrietamiento que presenten (Montenegro y Malagón, 1990)

4.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Con base en la información sobre la composición, propiedades y reacciones químicas que ocurren en el suelo se pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad, nutrición vegetal, movilidad y acumulación de metales pesados. La química de los elementos implica, tanto el estudio del origen de las cargas en los

coloides como los fenómenos de adsorción y el equilibrio dinámico del suelo (Cepeda, 1991). Los coloides son las porciones más activas del suelo y tienen origen mineral y orgánico, el origen mineral está presente casi exclusivamente como arcilla y el orgánico esta representado por el humus. Se reconocen dos tipos de arcillas: las silíceas (caolinita, la montmorillonita y las micas hidratadas) que son las más dominantes en los suelos agrícolas y las arcillas con óxidos hidratados de hierro y aluminio (Salamanca, 1999).

Capacidad de Intercambio Catiónico - C.I.C

La C.I.C es una propiedad importante de los suelos (especialmente de las arcillas) utilizada principalmente para valorar la capacidad para suministrar elementos a las plantas (Zuñiga, 2003). En este sentido, Salamanca (1999) afirma que la capacidad de intercambio de cationes está asociada directamente con la textura, tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica en el suelo. Es deseable que un suelo tenga una C.I.C alta, ya que indica una gran capacidad potencial de suministro y reserva de Ca, Mg y K.

La C.I.C se define como la capacidad del suelo para adsorber cationes fácilmente intercambiables y se puede considerar equivalente a la carga negativa del suelo o, a la cantidad de cationes fácilmente desplazables que se encuentran neutralizando cargas negativas en el suelo. Para Burbano (1989) las partículas coloidales del suelo están en mayor grado cargadas negativamente, estas cargas son de dos clases, permanentes y dependientes del pH. Las cargas permanentes ocurren en las superficies de las arcillas minerales y proceden en gran parte de la sustitución o reemplazo isomórfico de cationes en las láminas de las arcillas. La carga negativa también puede resultar de la disociación de H^+ de los ácidos débiles. En las arcillas 2:1 -montmorillonita, vermiculita- la carga proviene en su mayor parte de la sustitución isomórfica. En las arcillas 1:1 caolinita la carga proviene de la ionización del hidrogeno de los grupos OH localizados en las aristas.

Normalmente, la C.I.C se expresa en $cmol(+) \text{ por kilogramo de arcilla}$, y de acuerdo con la proporción de coloides y mineralogía (superficie específica) puede variar en un amplio rango. En suelos franco arenosos alcanzan valores tan bajos como $5 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, mientras que en suelos francos pueden superar los $15 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ (Quiroga y Romano, 2008).

Quiroga y Romano (2008) señalan que el equilibrio entre cationes retenidos y los iones en la solución del suelo dependen de la concentración de la solución y la actividad relativa de cada ión, de las características de cada catión (valencia y grado de hidratación) y del grado de afinidad entre el intercambiador y el catión.

Por otro lado, Salamanca (1999) describe que los coloides del suelo tienen en sus lugares de intercambio numerosos cationes, entre ellos el calcio, magnesio, potasio, sodio, amonio, aluminio, hierro e hidrógeno, que están retenidos en varios grados de intensidad según sus cargas y su capacidad de hidratarse y deshidratarse. Estos cationes pueden ser cambiados y pasar a la solución del suelo donde las raíces de las plantas los pueden tomar; de ahí la importancia de que a mayor C.I.C mayor fertilidad del suelo.

Cepeda (1991) afirma que en suelos excesivamente ácidos, el ion Al^{+++} puede constituir una gran parte de los iones intercambiables, y su concentración aumenta conforme disminuye el pH del suelo.

La C.I.C depende del pH, en general cuanto mayor sea la C.I.C mayor será la capacidad del suelo de adsorber metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y de su radio iónico hidratado, a mayor tamaño y menor valencia, menos fuerte queda retenido. Un suelo con alta C.I.C puede retener una gran cantidad de cationes de los nutrimentos en los lugares de intercambio, los nutrimentos aplicados al suelo que exceden esa cantidad pueden fácilmente ser lavados por el exceso de lluvia o por el agua de riego, esto implica que suelos con baja C.I.C necesitan un manejo diferente con aplicación de fertilizantes en pequeñas dosis aplicadas frecuentemente (FAO, 2000).

pH

El pH es una de las mediciones químicas más importantes que se puede hacer en un suelo, no sólo indica la condición ácido, neutro o alcalino del medio sino que aporta información básica para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos. Permite predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo y está involucrado en la retención de plaguicidas y agroquímicos, factor importante al momento de evaluar contaminación de suelos y aguas y/o persistencia (Azcarate, 2008).

La relación entre los iones H^+ y los OH^- es valorada en términos de la concentración de los iones hidrógeno, que se expresa en su pH y es igual al logaritmo del recíproco de la concentración de los iones H^+ . Al aumentar los iones H^+ de una solución, el pH disminuye y viceversa, como también a medida que aumenta la concentración de los iones OH^- , el pH de la solución aumenta proporcionalmente. Un ácido es una sustancia que tiende a dar protones (iones H^+) a alguna otra sustancia, mientras que una base es una sustancia que tiende a aceptar protones (Salamanca, 1999).

La determinación del pH se puede hacer por métodos colorimétricos y potenciométricos; el método colorimétrico usado en el campo, se basa en el

cambio de color producido por la actividad del ion hidrógeno en un indicador del tipo ácido-base; el método electrotérmico se mide el potencial de un electrodo sensible al ion hidrógeno en relación con un electrodo de referencia, que generalmente es de calomel, y que proporciona además un puente de sal que forma una unión líquida entre el cloruro de potasio saturado y la solución problema (Rodríguez, 2002). La medición del pH se realiza en general en una suspensión suelo-agua de relación 1:1; también es corriente realizar la medida del pH en soluciones salinas, el KCl normal es el más utilizado y las relaciones suelo: reactivo son similares (Malangón, 1995).

La Figura 4.2 describe la clasificación del suelo según su rango de pH en muy ácido, ácido, neutro, alcalino y muy alcalino.

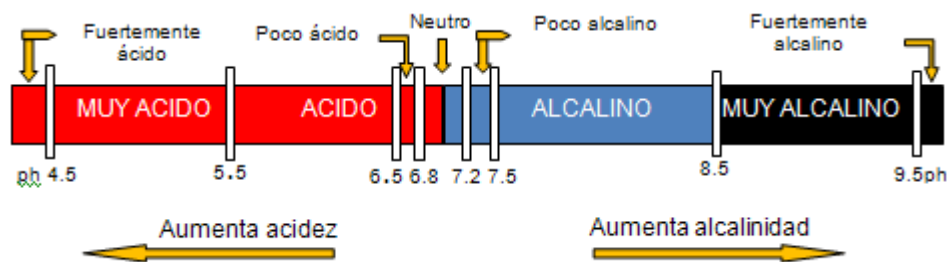


Figura 4.2 Clasificación del Suelo por su pH

Fuente: <http://galical.es/index2.php?op=calidades&ID=2>

Un suelo es neutro cuando tiene un pH situado en el rango de 6.8 y 7.2; suelos ácidos los que tienen un pH inferior a 6.8 y los suelos alcalinos o básicos los que tienen un pH superior a 7.2 (Salamanca, 1999).

Rodríguez (2002) plantea que para valores de pH por debajo de 5.5 es muy probable que existan problemas de toxicidad por aluminio en algunos cultivos, mientras que por arriba de 7.5 generalmente se reduce la disponibilidad de fósforo y todos los microorganismos. Por su parte, FitzPatrick (1996) afirma que un alto contenido de materia orgánica provoca acidez excepto cuando está compensado con altas concentraciones de cationes básicos. Generalmente los valores de pH cercanos a la neutralidad se originan por la presencia de grandes cantidades de calcio intercambiable y cierta cantidad de magnesio, a veces complementada con los carbonatos libres. Wright et al. (2009) afirman que el ajuste de pH del suelo mediante la adición de azufre ha demostrado ser efectiva temporalmente, pero la gran cantidad y costo requerido puede limitar su utilización. Prácticas culturales, como la labranza reducida y las inundaciones de campo, también se pueden emplear para reducir la tasa de subsidencia y el aumento de pH.

Fuentes de Acidez y Alcalinidad

Los factores que influyen en el valor del pH son diversos, se destacan: 1) el material parental que es la roca que dió origen a dicho suelo; 2) las precipitaciones que tienden a acidificar el suelo, por lixiviación de las bases calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+); 3) la mineralización de los residuos orgánicos que generan amonio (NH_4^+) cuya posterior oxidación a nitrato (NO_3^-) ocurre con liberación de H^+ ; 4) los ácidos húmicos resultantes de dicha mineralización poseen grupos reactivos, carboxílicos y fenólicos, que se comportan como ácidos débiles y 5) la extracción de bases por los cultivos, generalmente es mayor que el aporte de fertilización, lo que lleva a una acidificación del suelo (Kloster, 2008). También influye el uso de fertilizantes, los cuales pueden dejar residuos ácidos o alcalinos de acuerdo al carácter ácido o básico débil de los iones constituyentes del mismo, o a su posibilidad de experimentar reacciones de óxido reducción. Los fertilizantes particularmente nitrogenados, aumentan la acidez debido en gran parte a la transformación biológica -nitrificación dada en el suelo. También durante la descomposición de la materia orgánica producen aumento de la acidez, ya que en el proceso hay liberación de amonio que sufre nitrificación (Burbano, 1989).

Los procesos de lavado eliminan bases del suelo por lo tanto, tienden a provocar con el tiempo un descenso en el pH. Cuando el pH es demasiado bajo, la aplicación de cal permite subirlo y por el contrario, en suelos básicos puede conseguirse un descenso mediante la aplicación de yeso. Además es posible lograr un descenso del pH mediante la aplicación de azufre que una vez oxidado por los microorganismos forma ácido sulfúrico (Cepeda, 1991).

El pH influye en las propiedades físicas y químicas del suelo y estas son más estables a pH neutro. A pH muy ácido hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable, mientras que a pH alcalino, las arcillas se dispersan, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico (Kloster, 2008).

Contenido de Materia Orgánica - M.O

La M.O del suelo es un material que incluye desde células microbianas, tejidos vegetales y animales inalterados (sustancias no húmicas) hasta carbohidratos, proteínas, grasas, etc., y sustancias modificadas química y biológicamente (sustancias húmicas) (Quiroga y Romano, 2008).

Mediante el proceso de mineralización, la M.O se convierte en una importante fuente de suministro de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores aprovechables por las plantas. La M.O tiene además gran importancia como

compuesto mejorador de las propiedades físicas, agente buffer y es partícipe fundamental en los procesos de adsorción y en la C.I.C del suelo (Carrillo 1985). Narro (2004) afirma que la aplicación de M.O favorece la formación de agregados y la estructuración del suelo, debido a su acción cementante incrementa la agregación de las partículas sólidas y mejora la estabilidad estructural.

Los efectos de la M.O del suelo son entre otros, contribución a la C.I.C del suelo, suministro de nutrientes, mejora la estructura del suelo, incrementa la población y actividad microbiana, estos efectos van a estar gobernados por la concentración en la que se encuentre, su naturaleza y peso molecular de las fracciones presentes (Juárez et, al. 2006).

Algunos tipos de M.O pueden ser fuente de sustancias fitotóxicas o de productos perjudiciales para las plantas (Sánchez, 2003). La M.O puede adsorber tan fuertemente algunos metales, como en el caso del Cu, que puede quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en M.O, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La M.O regula la disponibilidad de muchos cationes metálicos que actúan como micronutrientes y de cationes tóxicos mediante la formación de complejos estables.

La M.O descompuesta, bien mezclada con el material mineral en los horizontes minerales constituye el humus, el cual se define como el producto de la descomposición vegetal y de la síntesis microbiana. Al igual que la arcillas, el humus tiene una alta capacidad de C.I.C y por consiguiente aumenta en forma significativa la capacidad de retención de cationes del suelo (FitzPatrick, 1996).

Si bien los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan independientemente la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la M.O es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Romano, 2008).

Las propiedades químicas afectadas por la M.O del suelo son: C.I.C, capacidad de amortiguación, la formación de complejos solubles con los metales y la interacción con xenobióticos como los pesticidas. Las principales propiedades físicas que influyen son la formación de agregados, la estabilización, retención de agua, la resistencia a la compactación y las propiedades térmicas. Las propiedades biológicas más importantes de la M.O son su papel como reserva de energía metabolizable para la actividad microbiana y la fauna, su efecto en la estabilización de la actividad enzimática y su valor como fuente de N disponible para las plantas, S y P a través de la mineralización (Haynes, R. 2008).

Se han establecido tres categorías para el contenido de materia orgánica en el suelo, para porcentajes menores al 2% se considera baja, entre 2% y 4% mediana y mayores al 4% se considera alto (Cenicaña, 1993).

Fósforo

El fósforo estimula la formación y crecimiento temprano de las raíces favoreciendo un arranque vigoroso y rápido de la planta, estimula la floración, acelera la madurez y ayuda a la formación de la semilla. Reacciona rápidamente con otros elementos químicos del suelo por lo cual se forman componentes menos solubles por lo que sólo reducidas proporciones quedan disponibles para la planta (Graetz, 2008).

Se recomienda antes de aplicar un fertilizante fosfatado tener en cuenta factores tales como: fósforo disponible, tipo de cultivo, mineralogía del suelo, uso y manejo del lote. En cultivos contenidos menores a 20 mg.kg^{-1} indican bajo nivel de fósforo en el suelo; entre $20\text{-}30 \text{ mg.kg}^{-1}$ indican nivel medio y mayores a 30 mg.kg^{-1} indican altos niveles de fósforo (Salamanca, 1999).

Potasio

Las partículas del suelo retienen el potasio con facilidad. La pérdida de potasio por lixiviación es menor en todos los suelos con excepción de los arenosos. Se agota especialmente con la explotación intensiva de plantas que requieren altas cantidades de este elemento (Graetz, 2008).

Jackson (1970), afirma que a medida que el potasio intercambiable de los suelos va siendo eliminado por lixiviación o por las cosechas parte del potasio de “reserva” presente en los feldespatos y micas va quedando alterado y se vuelve intercambiable. El potasio canjeable tiende a alcanzar el estado de equilibrio original con un nivel constante. Cenicaña (1993) establece como baja categoría niveles de potasio menores de $0.15 \text{ cmol.kg}^{-1}$, de mediana categoría niveles entre 0.15 y $0.30 \text{ cmol.kg}^{-1}$ y alta categoría niveles superiores a $0.30 \text{ cmol.kg}^{-1}$.

4.4 INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES EN LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELOS AGRÍCOLAS

4.4.1 USO DE FERTILIZANTES MINERALES Y ENMIENDAS ORGÁNICAS

Según Micó (2005) las prácticas agrícolas que van encaminadas al aumento de la productividad y al control de plagas y enfermedades, introducen en el suelo una gran cantidad de productos agroquímicos (fertilizantes y fitosanitarios) que

contienen metales pesados en concentraciones traza y que, incorporados al suelo de forma continuada, pueden afectar su fertilidad y alcanzar niveles tóxicos tanto en el suelo como en los cultivos. Adicionalmente, existen otras fuentes externas de metales pesados en los suelos agrícolas, que se consideran contaminantes cuando no son manejados o utilizados apropiadamente tales como: fertilizantes fosfatados y nitrogenados, productos fitosanitarios (herbicidas, insecticidas, fungicidas), abonos orgánicos procedentes de restos de origen animal, (purines, gallinaza) o vegetal (vinazas, alpechín), enmiendas orgánicas derivadas del compostaje de residuos, lodos de depuración, aguas residuales utilizadas para el riego, emisiones atmosféricas procedentes de diversas actividades humanas, vertidos de actividades urbano-industriales próximas a los suelos agrícolas, subproductos generados en los procesos de producción de alcohol carburante y azúcar, como vinaza, pollinaza, cachaza y bagazo.

Los fertilizantes contienen nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), además de otros componentes orgánicos, bien por separado, o ya sea formando distintas mezclas. La alta solubilidad de las sales empleadas (nitratos), posibilita que se produzca la lixiviación del anión y más teniendo en cuenta la baja capacidad de retención que tienen los suelos para las partículas cargadas negativamente. La llegada a las capas freáticas ó a las aguas superficiales en concentraciones elevadas de nitrógeno, puede originar la eutrofización del medio. La utilización de fitosanitarios para la lucha contra las plagas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, etc.) favorecen la llegada al suelo de compuestos orgánicos muy diversos. Su composición química y sus propiedades físico-químicas, como la polaridad, solubilidad o volatilidad, condicionan la posibilidad de biodegradación (López, 1995).

Mientras los fertilizantes sintéticos facilitan el manejo efectivo, inmediato y económico de nutrimentos específicos, los materiales orgánicos no solo suplen nutrimentos, sino que también mejoran las propiedades físicas y biológicas del suelo incrementando la productividad de los sistemas agrícolas en el tiempo (acción residual) (Valerio, 2000).

4.4.2 EL COMPOST UTILIZADO COMO ENMIENDA ORGÁNICA

El aprovechamiento de subproductos generados en los procesos de elaboración de azúcar y alcohol anhidro en los Ingenios Azucareros permite la elaboración de compost o abono orgánico a partir de carbonilla, cachaza y vinaza (Quintero, 2006).

Para Sztern (1999) los Ingenios son generadores de cantidades considerables de residuos sólidos, dando como resultado una problemática ambiental por su producción elevada y constante, además su manejo no ha sido eficiente por falta de actividades de sostenibilidad ambiental. Dar una respuesta a los residuos

agrícolas significa reducir sustancialmente, el volumen de lo que se considera residuo, utilizando su fracción orgánica como materia prima en los procesos de compostaje.

En los procesos de industrialización de la caña de azúcar se producen una serie de subproductos como la cachaza resultante de la clarificación de los jugos, la vinaza y el yeso resultante de los procesos de fermentación para producción de alcoholes y ácidos. El abono compostado se obtiene a partir de un proceso agroindustrial que procesa los residuos orgánicos generados de la producción de azúcar y alcohol, transformándolos en un producto estable e higienizado aplicable en la agricultura como abono orgánico (Zurro, 2005).

El compostaje se puede definir como un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la M.O, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características físico-químicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como “Compost” (Sztern, 1999).

En la Figura 4.3 se presenta un esquema del proceso de obtención del compost.

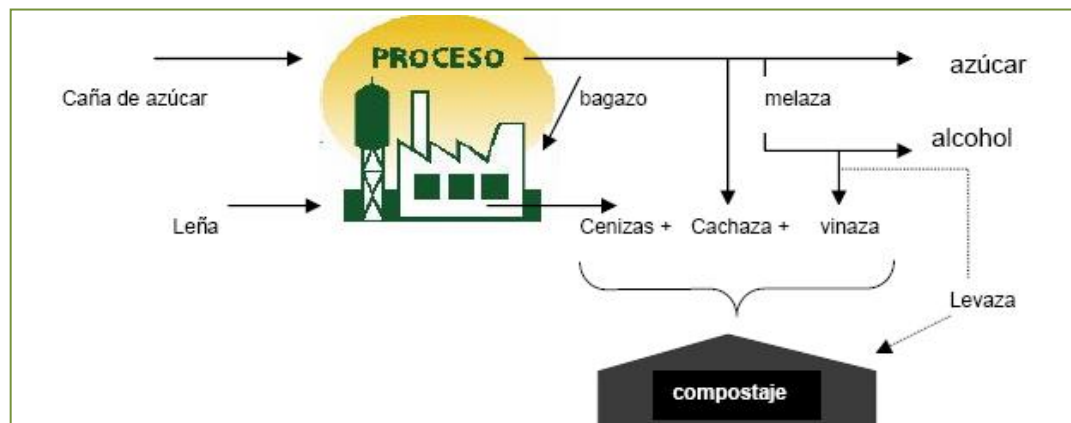


Figura 4.3 Proceso de obtención del Compost

Fuente: Zurro (2005)

La aplicación de estiércoles, purines y abonos verdes, es una práctica tradicional de abonado orgánico. La incorporación al suelo de residuos orgánicos puede llegar a tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, pero no en todos los casos esto se cumple e inclusive el efecto puede ser perjudicial. Aunque la incorporación al suelo de residuos orgánicos frescos o en procesos incipientes de biodegradación, puede conllevar a que se cumplan los procesos de mineralización, en algunos casos se terminan favoreciendo los procesos anaerobios, con la consiguiente acidificación, movilización y pérdidas de nutrientes (Rosal et al., 2008).

El compost es ampliamente utilizado para mejorar la estructura del suelo, estimular su actividad microbiana, incrementar su contenido en carbono y añadir nitrógeno y otros nutrientes al mismo. A pesar de sus ventajas, su utilización no está exenta de riesgos sobre todo los derivados del uso de M.O no estabilizada. Los principales riesgos de la aplicación de compost son: la reducción de oxígeno radicular, la producción de compuestos fitotóxicos en el suelo o la inmovilización del nitrógeno por los microorganismos en enmiendas con alta relación C/N (Rosal et al., 2008).

El compost es un material agronómicamente completo y fuente estimable de recursos minerales, siendo reconocido como fertilizante (suministrador de nutrientes) y enmienda orgánica de suelos (mejora la estructura del suelo). Desde el punto de vista agrícola, la aplicación de compost al suelo no debe ser entendido como algo aislado y referido única y exclusivamente a la calidad y características del mismo, sino ligado a la propia problemática del suelo donde se va a aplicar, así como de los cultivos existentes (Costa et al., 1995). En este sentido, Tejada et al. (2009) dedujeron que el uso de residuos orgánicos como complemento de los fertilizantes minerales se considera una buena práctica ambiental, siempre y cuando los residuos orgánicos no contengan metales pesados, contaminantes orgánicos y/o patógenos. Sin embargo, el efecto de los residuos orgánicos, particularmente en las propiedades del suelo, pérdida de suelos y restauración de suelos depende de su composición química. En particular, la aplicación de vinaza de remolacha fresca mostró un impacto negativo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, en el aumento de la pérdida de suelo y en la disminución de la cubierta vegetal debido probablemente a que contiene altas cantidades de cationes monovalentes, tales como Na^+ que desestabilizan la estructura del suelo.

4.5 LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE DEL CAUCA

4.5.1 HISTORIA

La referencia más antigua que existe del azúcar, es la especie ***Saccharum officinarum*** en el siglo IV A.C. en Persia, donde se usaba con fines medicinales. La India es considerada como el primer centro de explotación comercial de la caña donde se hizo azúcar.

Cristóbal Colón en el segundo viaje realizado a América, en 1493, introdujo la caña en la Isla la Española, que hoy en día es República Dominicana y Haití, de esta isla se difundió hacia Cuba, Puerto Rico, México, Colombia, Perú y a otros países del Continente (Subirós, 2000).

Las variedades de caña más utilizadas en el Valle del Cauca son CC8475 y la CC8592 producidas por Cenicaña, las cuales tienen una producción de 130 a 180

ton.ha⁻¹ dependiendo de las condiciones del suelo y las oportunas prácticas agronómicas realizadas (Holguín, 2010)

4.5.2 TIPOS DE FERTILIZANTES

Las respuestas a la fertilización en el Valle geográfico del río Cauca están relacionadas con el número de cortes, con la variedad, con las propiedades físicas del suelo especialmente la textura, la aireación y el drenaje (Guerrero, 1991). La cantidad de fertilizante que debe aplicarse está definida por la concurrencia de factores como: disponibilidad del nutrimento en el suelo, requerimiento del nutrimento por la planta, naturaleza o tipo de fertilizante, interacción del fertilizante con el suelo y época de aplicación. La interacción del fertilizante con el suelo (Solubilización, fijación, lixiviación, inmovilización, volatilización), dependerá de la naturaleza o tipo de fertilizante, de la época y del tipo de aplicación (Silva, 1984).

En el Valle del Cauca los fertilizantes nitrogenados más utilizados son la Urea (46%N) y el Sulfato de Amonio ((NH₄)₂SO₄), el cloruro de potasio (60% de K₂O) y el sulfato de K (50% de K₂O) son las dos fuentes más comunes de K. En cuanto a los fertilizantes fosfatados se prefiere el uso de superfosfato triple (TSP), fosfato monoamónico (MAP) fosfato diamónico (DAP) y la roca fosfórica (Silva, 1984). Las dosis de aplicación utilizadas por los ingenios son diferentes a las de los cañicultores dueños de fincas, los Ingenios utilizan de 300 a 350 kg.ha⁻¹ de urea (46%N), 100kg.ha⁻¹ de KCl (60% de K₂O) y el fósforo lo adicionan al momento de la siembra de 50 a 100kg.ha⁻¹ de DAP (P₂O₅ al 46%). Ésta fertilización la realizan a los 30 o 45 días después de la siembra teniendo en cuenta la humedad del suelo. Los agricultores hacen 2 aplicaciones de fertilizantes a los 30 y 60 días con dosis de 200 kg.ha⁻¹ de Urea al 46%, 50 kg.ha⁻¹ de KCl y 50 kg.ha⁻¹ de elementos menores (Holguín, 2010).

4.5.3. CICLO DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Para que la caña de azúcar complete satisfactoriamente las distintas fases: germinación, crecimiento y maduración debe contar con condiciones climáticas favorables (temperatura, humedad, radiación solar, precipitación, viento, entre otras) y con buenas condiciones edáficas (fertilidad, textura, pH, estructura); una adecuada interacción entre la planta, el clima, el suelo y el manejo que se le proporcione al cultivo determinaran una buena producción de caña y sacarosa (Subirós, 2000).

4.5.4. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Fertilización

La eficacia del uso de fertilizantes depende además de las dosis de aplicación, de factores como la forma de aplicación, la fuente de fertilizante y la época de aplicación (Cenicaña, 2002), en la siembra es recomendable colocar (en el fondo del surco) una fuente fosfórica, para ayudar al desarrollo del sistema radical, sólo si el contenido es bajo en el suelo o porque se encuentra en forma no asimilables por la planta. Para el N y el K_2O se recomienda dos aplicaciones a los 1.5 meses y entre los 3 y 4 meses después de la siembra, con dosis entre los 100 y 150 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 y de 50 a 80 $kg.ha^{-1}$ de N. Lo conveniente es utilizar los resultados de los análisis de suelos y foliares para disponer de mayor criterio (Guerrero, 1991).

Control de Malezas

El objetivo de esta práctica es proporcionar al cultivo las mejores condiciones para que las plantas puedan desarrollarse y aprovechar los nutrientes aplicados, utilizando métodos químicos, mecánicos o manuales (Guerrero, 1991). El control de malezas en socas puede ser mecánico con palas o azadones. En áreas extensas esta labor se puede hacer en forma eficiente y a bajo costo con rastrillo de discos o escardillos (chuzos), también se utilizan herbicidas para el control de malezas en el cultivo de caña de azúcar.

Control de Plagas y Enfermedades

Se deben realizar inspecciones periódicas para detectar la presencia de plagas y enfermedades como el carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow), y el mosaico. Prestar atención al ataque de roedores y a las larvas perforadoras del tallo.

Riego y Drenaje

Antes de establecerse el cultivo debe planearse la forma y la frecuencia del riego, así como deben establecerse los drenajes con antelación, de acuerdo con las necesidades de cada zona, tipo de suelo y estados fisiológicos de la planta, dependiendo de la precipitación se pueden programar hasta 7 riegos (Holguín, 2010). En condiciones de precipitación anual de 1000 a 1200 mm, los riegos se pueden programar usando los valores de $K=0.3$ entre los 2 y 4 meses y $K=0.7$ entre los 4 y 10 meses de edad del cultivo (Cenicaña, 2002).

5. METODOLOGÍA

5.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en el área rural del Municipio de El Cerrito, departamento del Valle del Cauca, en suelos de la Hacienda San Lucas Barona, ubicada geográficamente a $3^{\circ} 39'.00,66''$ N y $76^{\circ} 19'.47,62''$ O, a una altura de 992 m.s.n.m., en la suerte 5 tablón 4, con temperatura media de 24°C , humedad relativa de 75%, y precipitación aproximada de 1200 mm anuales, en una zona que corresponde a la clasificación climatológica de bosque seco tropical. El relieve dominante es plano con pendiente 0-1% (IGAC, 2004). En la Figura 5.1 se presenta la localización de la zona de estudio.

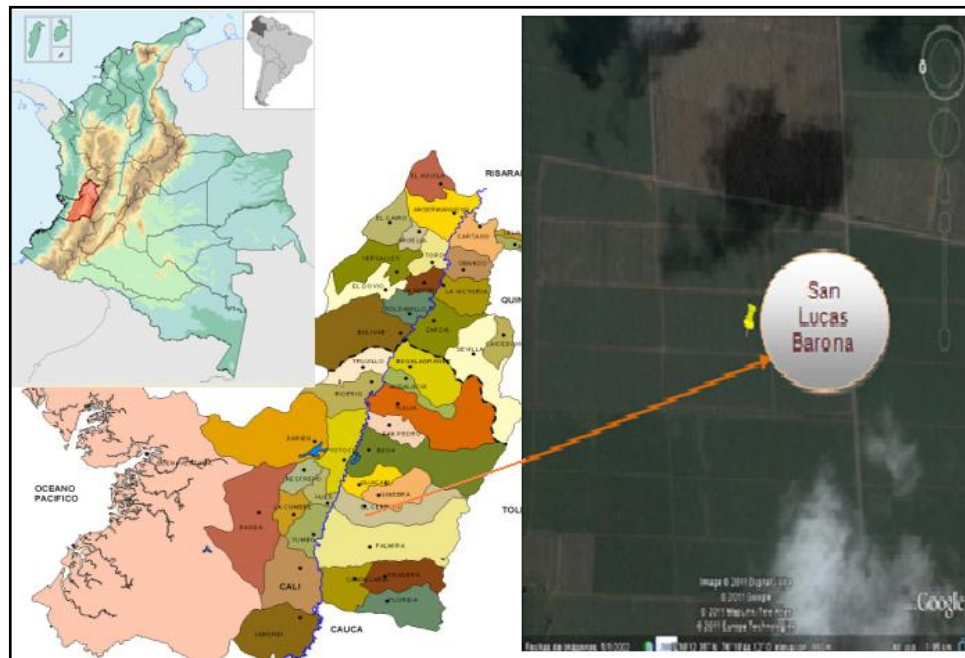


Figura 5.1 Localización Zona de Estudio

Fuente: Google Earth

5.2 COMPOST

El compost utilizado fue derivado de un proceso industrial donde se aprovechan los residuos orgánicos generados de la producción de azúcar y alcohol, al abono compostado se le realizó una caracterización inicial para determinar su potencial como fertilizante.

5.3 TRATAMIENTOS

Para alcanzar los objetivos establecidos, se llevó a cabo el seguimiento de lo que se ha denominado “tratamiento”. Cada tratamiento consistió en la aplicación de tres diferentes dosis de compost, un tratamiento con manejo convencional (fertilización mineral urea + KCL), un tratamiento testigo y tres repeticiones, que en total representan un esquema conformado por 15 unidades experimentales. Los tratamientos se aplicaron una sola vez al inicio del experimento y se describen a continuación:

- T: tratamiento testigo suelo sin ninguna aplicación de fertilizantes ni mineral ni orgánico.
- MC: manejo convencional considera la fertilización mineral (urea 350 kg.ha⁻¹ + KCL150 kg.ha⁻¹).
- C1: dosis de compost de 6 ton.ha⁻¹ corresponde al 50%, de las dosis aplicadas por los ingenios azucareros.
- C2: dosis de compost de 12 ton.ha⁻¹ corresponde al 100% de las dosis aplicadas por los ingenios azucareros.
- C3: dosis de compost de 18 ton.ha⁻¹ corresponde al 150% de las dosis aplicadas por los ingenios azucareros.

En la Tabla 5.1 se resumen los tratamientos aplicados en la investigación.

Tabla 5.1 Tratamientos Aplicados

Factores	Dosis	Replicas	Identificación
Compost (ton.ha ⁻¹)	6	3	C1
	12	3	C2
	18	3	C3
Convencional (kg.ha ⁻¹)	Urea + KCl	3	MC
Testigo	0	3	T

5.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

El área de cada unidad experimental donde se aplicaron los tratamientos (parcela) fué de 24,75 m² (4,95 m de ancho x 5 m de largo) y un espaciamiento entre unidades experimentales de 1,65 m (ancho de calle + surco) (Figura 5.2).

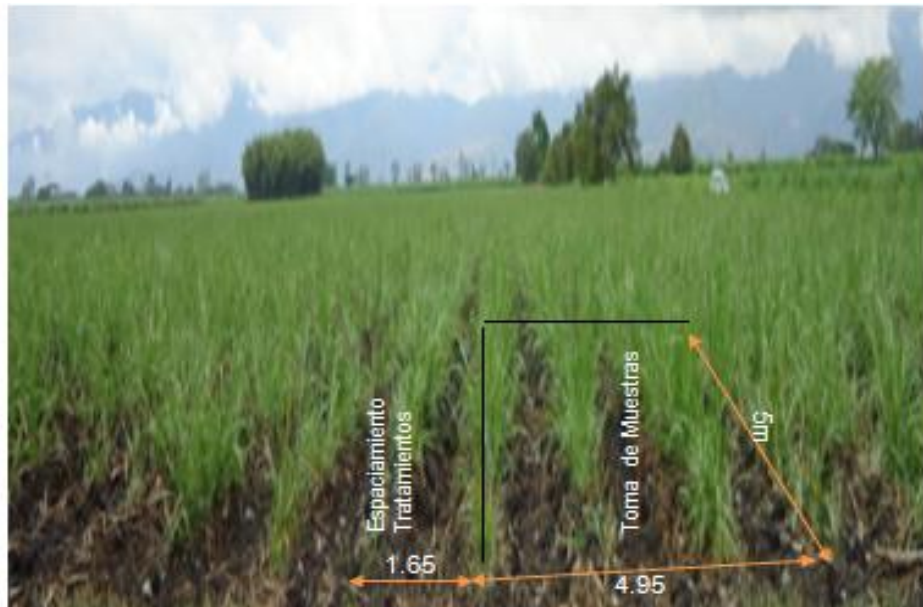


Figura 5.2 Unidad Experimental

En el área experimental se configuró un total de tres bloques (3 repeticiones); cada bloque aproximadamente de 12m de largo por 19.8m de ancho, espaciamiento entre bloques 3 metros y entre tratamientos 2 metros (Figura 5.3).

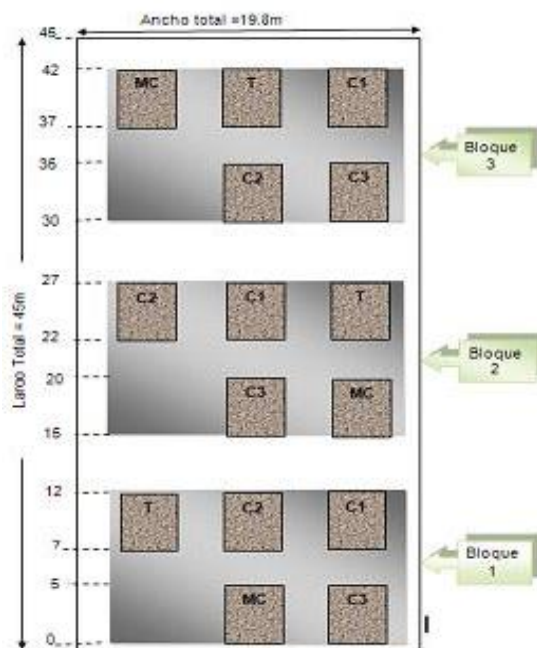


Figura 5.3 Área de Estudio

La zona de estudio seleccionada tiene información acerca del manejo, tratamiento y uso del suelo, así mismo, cuenta con estudios actualizados de sus características químicas, físicas, biológicas y micro morfológicas. Con ésta información y según la clasificación taxonómica, se tomaron muestras en cada una de las unidades experimentales evaluadas.

5.5 MUESTREO INICIAL

Se realizó una caracterización del suelo antes de la aplicación del compost y el fertilizante mineral para determinar sus propiedades químicas. Para la caracterización se seleccionaron 9 puntos de muestreo en zigzag y en cada punto se tomó una muestra en tres profundidades: 0-10 cm (h1), 10-20 cm (h2) y 20-40 cm (h3) y se homogenizaron para cada profundidad. Las variables químicas analizadas en el primer muestreo se resumen en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Variables Químicas caracterizadas y método de análisis

Variable	Método de Análisis
pH	Potenciométrico
Materia Orgánica	Walkey-Black Espectrometría
Fósforo	Bray II, Espectrometría
Potasio	Absorción atómica
Capacidad de Intercambio Catiónico	Amonio acetato y volumétrico

5.6 MUESTREOS EN EL TIEMPO

Se realizaron dos muestreos para evaluar el efecto de la aplicación de compost y la fertilización mineral en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Para tal efecto se tomaron muestras de suelo en puntos pertenecientes a los surcos donde se implementaron los tratamientos, es decir, sobre el surco central para reducir el efecto de borde o vecindad que se pudieran generar; se recolectaron muestras de suelo de 1 kg en cada una de las profundidades para los análisis químicos y físicos, se empacaron en bolsas previamente etiquetadas con los tratamientos y dosis aplicadas siguiendo los protocolos de muestreo establecidas (IGAC, 2006).

Para el proyecto se realizaron dos mediciones en el tiempo a cada una de las unidades experimentales:

- T1: se tomó a los 39 días después de aplicados los tratamientos
- T2: se tomó a los 200 días después de aplicados los tratamientos.

Además de evaluar los tratamientos en el tiempo se evaluaron a tres profundidades con el fin de identificar el cambio de las propiedades químicas con respecto a la profundidad:

- h1: 0 a 10 cm
- h2: 10 a 20 cm
- h3: 20 a 40 cm

El análisis de la propiedades físicas se realizó a las muestras tomadas en la capa superficial del suelo (0 a 10 cm), en el tiempo T2.

En la Figura 5.4 se presenta una fotografía del sitio de toma de muestras en el campo para cada una de las unidades experimentales.



Figura 5.4 Toma de Muestras

Las variables físicas y químicas determinados en cada uno de los tratamientos y el método utilizado para su determinación se muestran en la Tabla 5.3, la descripción de los métodos de laboratorio utilizados se presentan en el Anexo 2.

5.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo en parcelas subdivididas en el tiempo, donde la parcela principal fue la profundidad de muestreo y la subparcela correspondió a los tratamientos, con un arreglo de cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno para un total de 15 unidades experimentales. El objetivo fue tener comparaciones precisas entre los

tratamientos bajo estudio. Se utilizaron bloques para reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión.

En el experimento se consideraron tres profundidades de muestreo (h1, h2 y h3) cinco tratamientos (T, MC, C1, C2, C3) y dos épocas de muestreo (T1 y T2).

Tabla 5.3 Variables físicas y químicas del suelo y método de determinación

Variable	Método de Análisis
pH	Potenciómetro
Materia Orgánica	Walkey-Black Espectrometría
Fósforo	Bray II, Espectrometría
Potasio	Absorción atómica
Capacidad de Intercambio Catiónico	Amonio acetato y volumétrico
Granulometría (arenas, limos y arcillas)	Bouyoucos
Densidad Aparente	Cilindros
Densidad Real	Picnómetro
Porosidad	Relación Dr y Da
Estabilidad de agregados	Tamizado mecánico Yoder

5.8 ANÁLISIS DE DATOS

La base de datos fue manejada en hojas electrónicas (Excel) del paquete Microsoft Office y fueron procesadas y analizadas con SAS (v 9.2). La diferencia estadística significativa se evaluó con la técnica de análisis de varianza mediante el modelo lineal generalizado GLM, con un nivel de significancia ($p \leq 0.05$), el cual reveló si los efectos de todos los tratamientos son iguales o diferentes, y para realizar comparaciones múltiples entre promedios se utilizó la prueba Duncan, a fin de saber entre que tratamientos hay diferencias (Anexo 4).

Finalmente, se procedió a analizar la información con gráficas de los resultados físicos y químicos de las variables que resultaron más significativas.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 MUESTREO INICIAL DEL SUELO TYPIC HAPLUSTOLLS

Los resultados de las propiedades químicas del muestreo inicial antes de la aplicación de los tratamientos se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Muestreo Inicial

Profundidad (cm)	M.O (g/kg)	pH (Un)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	C.I.C (cmol/kg)
0-10	41.6	7.7	80.1	0.6	18.9
10-20	35.8	7.9	52.7	0.3	18.3
20-40	21.8	8.2	20.3	0.2	14.9

Los resultados de los análisis químicos indican que son suelos de reacción ligera a moderadamente alcalina. La capacidad de intercambio de cationes en la profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm es alta y de 20 a 40 cm es media, ya que según Quiroga y Romano (2008) para suelos francos que presentan C.I.C por encima de 15 cmol.kg^{-1} se consideran altos y con buen potencial para suministrar nutrientes a las plantas. Presenta un alto contenido de materia orgánica en la profundidad de 0 a 10 cm y medio en las demás profundidades. El fósforo y el potasio son altos en la profundidad de 0 a 10 cm y bajo en las demás profundidades. Por lo tanto, estas características hacen que estos suelos tengan una fertilidad alta.

6.2 CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST

La caracterización de compost se presenta en la Tabla 6.2, dónde se observa que tiene un pH de 7.19 unidades; es decir neutro, por lo tanto se puede usar sin contraindicaciones. La relación C/N permite un buen aporte en cantidad de humus al suelo (Jaramillo, 2001). En cuanto a su concentración elemental se debe anotar que con excepción de K y Mg, los nutrientes se encuentran en cantidades medias a altas, lo que implica que su poder fertilizante es bueno, y para suplir las necesidades del cultivo se deben adicionar cantidades moderadas.

Tabla 6.2 Caracterización Inicial del Compost

pH	C/N	C Total	N Total	P Total	K	Mg	S Total	B	Fe	Mn	Cu	Zn
uni		g/kg						mg/kg				
7.19	22.1	252.2	11.4	11.9	22.2	7.4	22.7	17.8	319.4	436.0	55.4	116.3

6.3 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

6.3.1 PROPIEDADES QUÍMICAS

El análisis de varianza, permitió analizar los resultados de las propiedades químicas asociadas al efecto de los tratamientos aplicados, cuyas fuentes de variación fueron: 1) **profundidad**, 2) **tratamiento**, 3) **tratamiento x profundidad**, 4) **muestreo**, 5) **muestreo x profundidad**, 6) **muestreo x tratamiento** y 7) **muestreo x tratamiento x profundidad**.

Hipótesis del análisis de varianza:

- *Hipótesis nula (H_0):* no existen diferencias en las medias de las propiedades químicas evaluadas en suelos agrícolas cultivados con caña de azúcar cuando se aplican diferentes dosis de compost
- *Hipótesis alterna (H_a):* al menos uno de los tratamientos presenta un efecto sobre la variable respuesta.

Para esta investigación se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (nivel de confiabilidad del 95%); este criterio permitió rechazar la hipótesis nula para aquellos tratamientos que presentaron diferencias significativas, si $p < 0.05$.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza (Tabla 6.3), las fuentes de variación que resultaron significativas fueron la profundidad, tratamiento, y, muestreo.

Para la fuente de variación **profundidad** (h1, h2 y h3) se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$), es decir, existen diferencias en éstas profundidades para las variables respuesta M.O, pH, P y K, mientras que para la variable C.I.C no presentó diferencia estadísticamente significativa.

Para la fuente de variación **Tratamiento** (C1, C2, C3, MC, y T) hay diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en las variables respuesta M.O, pH y P. Mientras que para el K y la C.I.C no existe evidencia de que el tipo de tratamiento influya de manera significativa en estas propiedades.

El análisis de varianza demostró que en la fuente de variación **Muestreo** (M1 y M2) existe diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en las propiedades M.O, pH, P y K, menos para la propiedad C.I.C.

Tabla 6.3 Análisis de varianza para las variables de respuesta químicas

Fuente de Variación	Gli	Materia Orgánica		pH		Fósforo		Potasio		CIC	
		CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c
Profundidad	2	153.41	0.001	0.044	0.018	1723.63	0.012	0.106	0.006	1.186	0.161
Tratamiento	4	124.71	<.0001	0.315	<.0001	723.97	0.006	0.024	0.187	7.342	0.053
Tratamiento x Profundidad	8	12.33	0.496	0.02	0.614	170.6	0.389	0.002	0.998	1.096	0.905
Muestreo	1	267.32	<.0001	0.126	<.0001	1491.57	0.003	0.459	<.0001	1.32	0.1
Muestreo x Profundidad	2	3.48	0.476	0.008	0.169	210.62	0.234	0.029	0.001	0.598	0.286
Muestreo x Tratamiento	4	13.71	0.034	0.014	0.028	52.01	0.824	0.003	0.531	0.816	0.158
Muestreo x Tratamiento x Profundidad	8	2.51	0.81	0.005	0.395	97.34	0.685	0.002	0.772	0.525	0.362
Promedio		38.91		7.61		62.16		0.33		19.28	
CV(%)		5.5		0.9		18.9		17.7		3.5	

Teniendo en cuenta que en el análisis de varianza se pudo determinar que existen diferencias estadísticamente significativas en las fuentes de variación mencionadas, se procedió a realizar la prueba de comparación de promedios (prueba de rangos múltiple de Duncan); esta prueba permite establecer la diferencia entre las medias para las fuentes de variación **profundidad, tratamiento y tiempo de muestreo**.

- Fuente de variación Profundidad

Como se observa en la Tabla 6.4, los resultados de la Prueba Duncan para comparaciones entre promedios relacionados con la profundidad, indican que para la variable **M.O** entre las profundidades de 0-10 cm con un promedio de 40.7 g.kg^{-1} y de 10-20 cm con promedio de 39.7 g.kg^{-1} no existen diferencias estadísticas, pero si cuando son comparados con la profundidad de 20-40 cm con promedio de 36.4 g.kg^{-1} .

Tabla 6.4 Comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con la profundidad

Materia Orgánica			pH			Fosforo			Potasio			CIC		
Profundidad	Promedio	Grupo de Duncan	Profundidad	Promedio	Grupo de Duncan	Profundidad	Promedio	Grupo de Duncan	Profundidad	Promedio	Grupo de Duncan	Profundidad	Promedio	Grupo de Duncan
0-10 cm	40.68	a	0-10 cm	7.572	b	0-10 cm	68.83	a	0-10 cm	0.393	a	0-10 cm	19.42	a
10-20 cm	39.69	a	10-20 cm	7.596	b	10-20 cm	63.73	a	10-20 cm	0.322	b	10-20 cm	19.37	a
20-40 cm	36.36	b	20-40 cm	7.648	a	20-40 cm	53.92	b	20-40 cm	0.275	c	20-40 cm	19.05	a

Nota: dentro de una misma columna promedios con igual letra no difieren estadísticamente

Se presentó un comportamiento descendente en la cantidad de M.O, lo que evidencia su acumulación en los primeros 20 cm del suelo. Esta alta cantidad de M.O contribuye a una mejor C.I.C del suelo y como lo afirma Juárez et al. (2006), la M.O mejora la estructura del suelo, incrementa la población y actividad microbiana y un mejor suministro de nutrientes.

Para el **pH** no existen diferencias estadísticas entre el valor presentado en la profundidad de 0-10 cm con la profundidad de 10-20 cm, pero si cuando estos se comparan con el valor presentado en la profundidad de 20-40 cm, cuyo rango de variación fue de 7.57 a 7.64. Estos resultados muestran un leve aumento del pH a más profundidad derivando en más alcalinidad, en este sentido Rodríguez (2002) plantea que para valores de pH por arriba de 7.5 generalmente se reduce la disponibilidad de fósforo.

La respuesta del **fósforo** indica que no existen diferencias significativas entre las profundidades de 0-10 cm con promedio de 68.8 mg.kg⁻¹ y la profundidad de 10-20 cm con promedio de 63.7 mg.kg⁻¹, pero si cuando son comparadas con la profundidad de 20-40 cm con promedio de 53.9 mg.kg⁻¹. Estos valores indican altos contenidos de fósforo como lo afirma Salamanca (1999), quién clasifica como altos contenidos de fósforo cuando los niveles son mayores a 30 mg.kg⁻¹. Por su parte Wright (2009) concluyó en su investigación que la concentración de fósforo disminuyó con la profundidad en el perfil, lo que indica la acumulación en la superficie del suelo resultante de la oxidación y la fertilización, aunque si bien hay alta cantidad de fósforo su disponibilidad es baja debido a las condiciones básicas que presenta el suelo (ph>7.5).

En la Figura 6.1 se puede observar el comportamiento de las propiedades químicas debido a la fuente de variación profundidad.

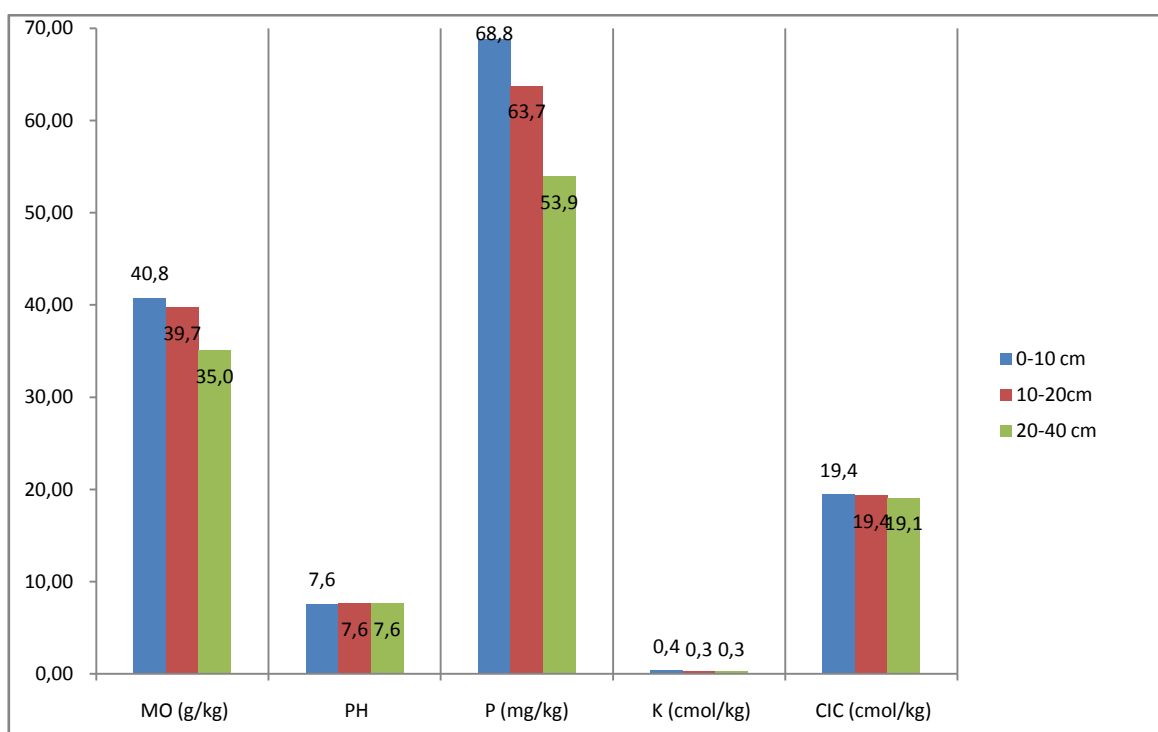


Figura 6.1 Análisis de la fuente de variación **Profundidad**

Para el **potasio** existen diferencias significativas estadísticamente entre las tres profundidades, cuyos promedios fueron para la profundidad de 0-10 cm 0.39 cmol.kg⁻¹ para 10-20 cm 0.32 cmol.kg⁻¹ y en la profundidad de 20-40 cm 0.27 cmol.kg⁻¹. El potasio tiende a descender para las tres profundidades, sin embargo sus contenidos son altos como lo plantea Cenicaña (1993), que considera de alta categoría niveles superiores a 0.30 cmol.kg⁻¹. Se agota especialmente con la

explotación intensiva de plantas que requieren de este elemento y por lixiviación, que es menor en todos los suelos con excepción de los arenosos (Graetz, 2008).

El comportamiento de la **capacidad de intercambio catiónico** muestra que no existen diferencias estadísticas entre las tres profundidades, cuyos promedios fueron para la profundidad de 0-10 cm $19.4 \text{ cmol.kg}^{-1}$ para 10-20 cm $19.4 \text{ cmol.kg}^{-1}$ y para la profundidad de 20-40 cm $19.1 \text{ cmol.kg}^{-1}$, se presenta un comportamiento homogéneo para todas las profundidades con valores altos de C.I.C, lo cual es recomendable por que indica una alta capacidad de suministrar elementos a las plantas (Zuñiga, 2003). Salamanca (1999) afirma que es deseable que un suelo tenga una C.I.C alta, ya que indica una gran capacidad de suministro y reserva de Ca, Mg y K.

- Fuente de variación Tratamiento

Los resultados de la prueba Duncan para la fuente de variación **tratamiento** presentados en la Tabla 6.5 muestran que para la propiedad **M.O** hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos C1 (42.1 g.kg^{-1}), T (40.4 g.kg^{-1}), C3 (38.5 g.kg^{-1}), C2 (37.6 g.kg^{-1}) y MC (35.5 g.kg^{-1}), mientras que cuando son comparados los tratamientos C2 y C3 no se observan diferencias significativas

Tabla 6.5 Comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con el tratamiento

Materia Orgánica			pH			Fosforo			Potasio			CIC		
Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan
TESTIGO	40.93	b	TESTIGO	7.632	b	TESTIGO	66.45	a	TESTIGO	0.364	a	TESTIGO	19.59	a
M.CONVENSIONAL	35.47	d	M.CONVENSIONAL	7.800	a	M.CONVENSIONAL	51.24	b	M.CONVENSIONAL	0.278	a	M.CONVENSIONAL	18.37	b
COMPOST I	42.06	a	COMPOST I	7.458	c	COMPOST I	66.76	a	COMPOST I	0.363	a	COMPOST I	19.98	a
COMPOST II	37.58	c	COMPOST II	7.509	c	COMPOST II	63.26	a	COMPOST II	0.312	a	COMPOST II	18.91	a
COMPOST III	38.51	c	COMPOST III	7.628	b	COMPOST III	63.08	a	COMPOST III	0.333	a	COMPOST III	19.56	a

Nota: dentro de una misma columna promedios con igual letra no difieren estadísticamente

En la Figura 6.2, para el análisis del comportamiento de la M.O se observa que aunque los tratamientos C2 y C3 tienen dosis de compost más altas y por lo tanto se esperaba mayor aporte de M.O, el que presentó el promedio de M.O más elevado fue con el tratamiento C1 mientras que con el tratamiento MC se presentó el nivel mas bajo. Los resultados muestran que el C1 causó una mejora en las propiedades del suelo aumentando la M.O en comparación con el suelo fertilizado con MC. La mayor cantidad de MO influenciada con el tratamiento C1 puede ser explicado por la alta variabilidad del suelo ya que el muestreo inicial del experimento se realizó con una sola muestra homogénea para todo el lote y los muestreos en el tiempo se realizaron para cada unidad experimental.

Este aumento de M.O para el tratamiento C1 y menor valor para el tratamiento MC es sustentado por la investigación realizada por Jouquet et al. (2011), quienes concluyeron que tanto el compost y vermicompost causaron una mejora en las propiedades del suelo con un aumento en el pH, M.O y el contenido de nutrientes, en comparación con el suelo fertilizado con productos minerales sintéticos. En investigaciones realizadas en esta línea Roca et al. (2001) reportaron que al añadir el compost, lo que se hace es aumentar la M.O y por consiguiente, los nutrientes, los cuales deberían de encontrarse más adsorbidos al complejo de cambio aumentando su C.I.C e impidiendo su lixiviación. Meléndez (2003) concluyó que el contenido de M.O en la enmienda orgánica tiene un efecto positivo sobre la fertilidad de los suelos. Los contenidos de M.O encontrados en el presente estudio son altos comparados con los de la investigación realizada por Pazos y Mestelan, (2002), quienes reportaron contenidos de 45g.kg^{-1} , los cuales se consideran elevados desde el punto de vista agronómico y que aún no evidencia el proceso de intensificación agrícola.

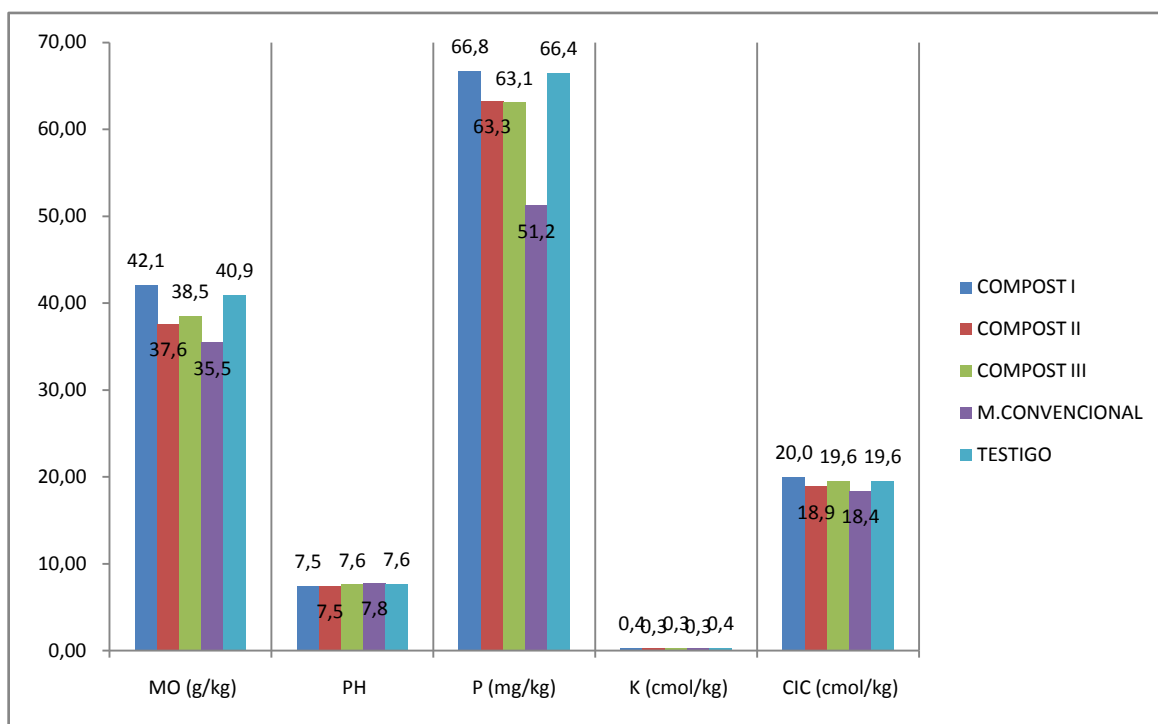


Figura 6.2 Análisis de la fuente de variación Tratamiento

Para el pH no hay diferencias significativas entre los tratamientos T y C3, como tampoco las hay entre C1 y C2 los cuales se encuentran en el rango poco alcalino entre 7.2 y 7.5 unidades, lo que determina una buena disponibilidad de nutrientes esenciales; sin embargo, entre el tratamiento MC y los anteriores tratamientos mencionados si se encontraron diferencias significativas. Se observó que el tratamiento C1 presentó el pH más bajo respecto a los demás tratamientos

aplicados mientras que con el tratamiento MC presentó el mayor nivel de alcalinidad comparado con los demás tratamientos evaluados con un pH de 7.8 estos resultados evidencian una disminución del pH debido a la aplicación de compost. Quintero (2006) plantea que valores de pH alcalinos son debidos a un posible exceso de carbonatos, baja solubilidad de P y de micronutrientes a excepción del Mo, por lo tanto es necesario tratar el suelo con enmiendas. En el estudio realizado por Bulluck et al. (2002) se encontró que los suelos con fertilización orgánica, inicialmente tenían un pH más bajo que los suelos con fertilizantes minerales, pero con el tiempo el pH del suelo aumentó. Gopinat et al. (2008) reportó que el pH del suelo aumentó significativamente, en todas las parcelas tratadas con enmiendas orgánicas en comparación con el tratamiento de fertilizantes minerales, después de un periodo de transición de 2 años.

Para el **Fósforo** hay diferencias significativas estadísticamente entre el tratamiento MC (51.24 mg.kg^{-1}) y los demás tratamientos (T: 66.45 mg.kg^{-1} , C1: 66.76 mg.kg^{-1} , C2: 63.26 mg.kg^{-1} y C3: 63.08 mg.kg^{-1}). El mayor nivel de Fósforo se observó en el suelo tratado con C1, mientras que los menores niveles se encontraron en el tratamiento MC, lo cual indica un mayor aporte de fósforo por parte de los tratamientos con compost comparados con el tratamiento MC.

Para el **Potasio** no se encontraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos aplicados. Sin embargo los mayores niveles de Potasio se presentaron para los tratamientos T ($0.36 \text{ cmol.kg}^{-1}$) y C1 ($0.36 \text{ cmol.kg}^{-1}$), seguidos por C3 ($0.33 \text{ cmol.kg}^{-1}$) y C2 ($0.31 \text{ cmol.kg}^{-1}$), mientras que los menores niveles se presentaron para MC ($0.27 \text{ cmol.kg}^{-1}$). Si bien se esperaba mayor aporte de Potasio con los tratamientos C2 y C3 no sucedió debido a la alta variabilidad de los suelos ya que el muestreo inicial se realizó con una muestra homogénea para todo el lote mientras que los muestreos en el tiempo se realizaron para cada unidad experimental. Resultados similares encontraron en su investigación Bullock et al. (2002) quienes reportaron un aumento en las concentraciones de Potasio utilizando enmiendas orgánicas en un factor de 3 y fueron superiores en el segundo año de evaluación, mientras que las concentraciones de potasio disminuyeron con el tiempo en suelos con fertilizantes sintéticos.

La variable **C.I.C** no presentó diferencias significativas entre C1 ($19.98 \text{ cmol.kg}^{-1}$), T ($19.59 \text{ cmol.kg}^{-1}$), C3 ($19.56 \text{ cmol.kg}^{-1}$) y C2 ($18.91 \text{ cmol.kg}^{-1}$), pero si hay diferencias entre los anteriores tratamientos mencionados y MC ($18.37 \text{ cmol.kg}^{-1}$). Estos altos niveles evidencian el aporte de M.O al suelo, la cual ejerce un efecto beneficioso sobre la C.I.C y trae consigo consecuencias positivas, favoreciendo la adsorción de nutrientes, de tal forma que dichos elementos se encuentren durante más tiempo disponibles para las plantas (Roca et al., 2008). Los efectos del abono varían en función de su tipo y del tipo de suelo (Pérez-Piqueres et al., 2006), lo cual es corroborado en el presente estudio debido a que el mayor nivel de C.I.C se presentó en suelos tratados con C1, seguidos por C3 y C2 y el menor para los

tratados con MC, si bien se esperaba mayor C.I.C con C3 y C2 no ocurrió así, lo cual es explicado por la variabilidad de los suelos como por los cambios de temperatura y humedad que presentan.

- Fuente de variación Muestreo

Para las comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con el Muestreo, se observa en la Tabla 6.6 que entre los muestreos realizados a los 30 y 200 días posteriores a la aplicación de los tratamientos existen diferencias significativas.

Tabla 6.6 Comparaciones de Duncan entre promedios relacionados con el muestreo

Materia Orgánica			pH			Fosforo			Potasio			CIC		
Muestreo	Promedio	Grupo de Duncan	Muestreo	Promedio	Grupo de Duncan	Muestreo	Promedio	Grupo de Duncan	Muestreo	Promedio	Grupo de Duncan	Muestreo	Promedio	Grupo de Duncan
30 días	40.63	a	30 días	7.568	b	30 días	66.23	a	30 días	0.402	a	30 días	19.40	a
200 días	37.19	b	200 días	7.643	a	200 días	58.09	b	200 días	0.259	b	200 días	19.16	a

Nota: Dentro de una misma columna promedios con igual letra no difieren estadísticamente

En la Figura 6.3 se observa que la M.O desciende levemente del muestreo 1 al muestreo 2, (40.63 g.kg^{-1} a 37.19 g.kg^{-1}), sin embargo todavía conserva alta su concentración, convirtiéndose en una fuente de suministro de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores, además como compuesto mejorador de las propiedades físicas (Carrillo,1985).

Algunos autores han concluido que el contenido de M.O disminuye con los años de agricultura, las prácticas de labranza y la intensificación del ciclo agrícola (Urricariet y Lavado, 1999). Para que se produzca un aumento significativo de M.O se necesitan aplicaciones constantes de abono orgánico durante un largo periodo de tiempo, tal como lo afirman Mays et al. (1973) y Shiralipour et al. (1992) citado por Bulluk et al. (2002), quienes sostienen que para causar mejoras significativas en las propiedades físicas y químicas del suelo, se requieren aplicaciones anuales y constantes de Compost. Adicionalmente, Kuo et al. (1997) y Clark et al. (1998) indican que durante los años de transición de fertilización convencional a orgánica, los suelos muestran un lento pero importante aumento de M.O.

El pH aumentó de 7.56 a 7.64 unidades, valores que establecen al suelo con una condición ligera a moderadamente alcalina, que disminuye la disponibilidad de fósforo y microelementos (Boro, Manganeso, Hierro, Cobre y Zinc) Jaramillo, (2001). Este aumento coincide con lo reportado por Gopinath et al. (2008) quienes

determinaron que la aplicación de enmiendas orgánicas aumenta el pH del suelo de (6,0-6,5) en comparación con tratamiento de fertilización mineral.

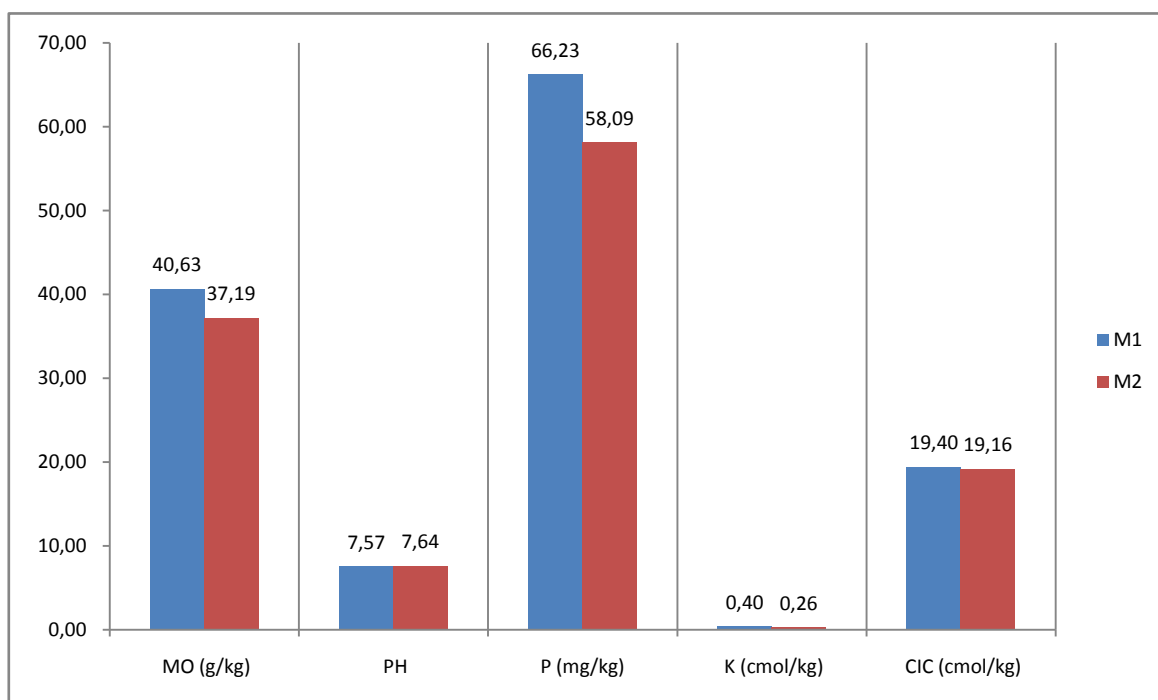


Figura 6.3 Análisis para la fuente de variación Muestreo

El fósforo y el potasio disminuyeron de 66.23 mg.kg^{-1} a 58.09 mg.kg^{-1} y de 0.402 a $0.259 \text{ cmol.kg}^{-1}$ respectivamente, si bien disminuyeron estos valores todavía se encuentran en un nivel óptimo de concentración para las plantas (Cenicaña, 1993). En este sentido Wright et al. (2009) dieron a conocer que la disponibilidad de fósforo para las plantas está fuertemente influenciada por el pH del suelo y su disponibilidad es máxima cuando el pH está entre 5,5 y 7,5. Condiciones básicas del suelo ($\text{pH} > 7,5$) causan exceso de calcio al estar presente en la solución del suelo, que pueden precipitar con P, que en definitiva reduce su disponibilidad.

El nivel de C.I.C disminuyó de 19.4 a $19.1 \text{ cmol.kg}^{-1}$ entre las dos fechas de muestreo, si bien decreció un poco no hay diferencias significativas y todavía pertenecen a un nivel alto. En este sentido Salamanca (1999) afirma que es deseable que un suelo tenga una C.I.C alta, ya que indica una gran capacidad potencial de suministro y reserva de Ca, Mg, y K.

6.3.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El análisis de las propiedades físicas del suelo, corresponde a las muestras tomadas en la capa arable (entre 0 y 10 cm), las cuales fueron realizadas a los

200 días de aplicados los tratamientos (Anexo 3). Inicialmente se analizó el efecto de las enmiendas a partir de un análisis de varianza (Tabla 6.7) cuya fuente de variación fueron el bloque y el tipo de tratamiento. De acuerdo con los resultados del análisis de varianza, para la fuente de variación del tratamiento se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) en la variable respuesta limo (%), mientras que para las demás variables: densidad aparente, densidad real, porosidad, estabilidad de agregados, % de arcilla y % arena no se encontraron diferencias significativas respecto al tratamiento utilizado.

Con el objetivo de determinar las categorías estadísticas entre los tratamientos, fue realizado el procedimiento de separación de medias, a través de la prueba de rangos múltiples de Duncan con un 95% de confianza ($\alpha = 0.05$) (Tabla 6.8). Se determinó el criterio de comparación entre tratamientos donde se encontró que el único que tuvo diferencias significativas estadísticamente fue con la aplicación de manejo convencional para la variable respuesta limo con 35.9 %.

El Coeficiente de variación (CV%) fue bajo para la densidad aparente, arena, arcilla y limo, comparado con investigaciones realizadas por Warrick y Nielsen (1980) citados por Obando y Villegas (2005), quienes afirman que se pueden calificar las propiedades físicas en las siguientes categorías: baja variación (CV menor 12%) para densidad aparente, variación media (CV entre 12-60%) para arena, arcilla y limo.

- Comportamiento fracción granulométrica

Para todos los tratamientos evaluados la clase textural fue Franco Arcillosa. Tras el análisis de las fracciones granulométricas arena y arcilla no se observaron diferencias significativas entre tratamientos con excepción de limos. La fracción granulométrica más abundante fue limo seguida por la arcilla y la arena. El mayor promedio de limo se presentó para el tratamiento C3 (41.7%) y el menor para el tratamiento MC (35.9%). Para la arcilla, el mayor porcentaje se presentó para el tratamiento MC (33.6%) y el menor para C3 (30.9%).

Como se observa en la Figura 6.4 el mayor porcentaje de arena fue para el tratamiento MC (30.4%) y el menor para C1 (27.3%). Sin embargo, a pesar de la abundancia de la fracción limo con la aplicación del tratamiento C3, la más importante por ser la más activa es la arcilla, puesto que se asocia con los materiales orgánicos, asegura la cohesión de los agregados, fija cationes y aniones sobre los lugares de cambio además de retener el agua (Roca et al., 2008).

Tabla 6.7 Análisis de varianza para las variables de respuesta físicas

Fuente de Variación	GI	Densidad Real (g.cm ⁻³)		Densidad Aparente (g.cm ⁻³)		Porosidad (%)		Arcillas (%)		Arena (%)		Limo(%)		Estabilidad Estructural (mm)	
		CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c	CM	Pr > F _c
Bloque	2	0.0034	0.88	0.0018	0.86	4.11	0.91	0.106	0.006	0.39	0.94	3.98	0.48	0.098	0.051
Tratamiento	4	0.034	0.35	0.014	0.37	37.57	0.55	0.024	0.187	7.18	0.42	13.45	0.04	0.028	0.355
Promedio		2.76		1.67		39.28		32.44		28.85		38.69		19.28	
CV(%)		5.91		6.61		17.46		5.13		8.87		5.8		0.62	

Tabla 6.8 Comparaciones de Duncan entre Tratamientos para variables físicas

Densidad Real			Densidad Aparente			Porosidad			Arcilla			Arena			Limo			Estabilidad Estructural		
Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan	Tratamiento	Promedio	Grupo de Duncan
TESTIGO	2.66	a	TESTIGO	1.670	a	TESTIGO	36.62	a	TESTIGO	31.760	a	TESTIGO	30.34	a	TESTIGO	37.89	a	TESTIGO	0.69	a
M.CONVENSIONAL	2.75	a	M.CONVENSIONAL	1.760	a	M.CONVENSIONAL	35.77	a	M.CONVENSIONAL	33.600	a	M.CONVENSIONAL	30.45	a	M.CONVENSIONAL	35.94	b	M.CONVENSIONAL	0.51	a
COMPOST I	2.80	a	COMPOST I	1.700	a	COMPOST I	38.76	a	COMPOST I	33.410	a	COMPOST I	27.30	a	COMPOST I	39.28	a	COMPOST I	0.64	a
COMPOST II	2.67	a	COMPOST II	1.590	a	COMPOST II	40.59	a	COMPOST II	32.500	a	COMPOST II	28.88	a	COMPOST II	38.61	a	COMPOST II	0.52	a
COMPOST III	2.92	a	COMPOST III	1.610	a	COMPOST III	44.64	a	COMPOST III	30.930	a	COMPOST III	27.30	a	COMPOST III	41.76	a	COMPOST III	0.73	a

Dentro de una misma columna Promedios con igual letra no difieren Estadísticamente.

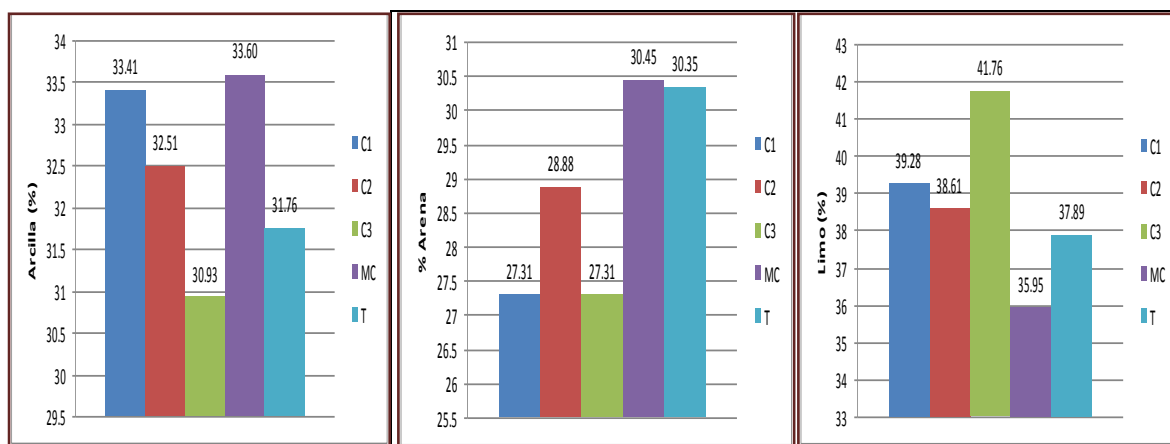


Figura 6.4 Análisis Fracción Granulométrica

- Comportamiento densidad aparente, densidad real y porosidad

La Figura 6.5 muestra que la densidad aparente fue alta y mayor en el tratamiento MC (1.77 g.cm^{-3}) y menor para C2 (1.59 g.cm^{-3}). Los valores altos de la densidad aparente se deben al desarrollo de una estructura poco porosa y problemas de compactación. La densidad real fue media a alta, mayor para el tratamiento C3 (2.92 g.cm^{-3}) y la menor para el tratamiento T (2.66 g.cm^{-3}). La porosidad del suelo es relativamente baja, siendo el tratamiento C3 el de mayor porcentaje (44.64%) y el menor para el tratamiento MC (35.77%).

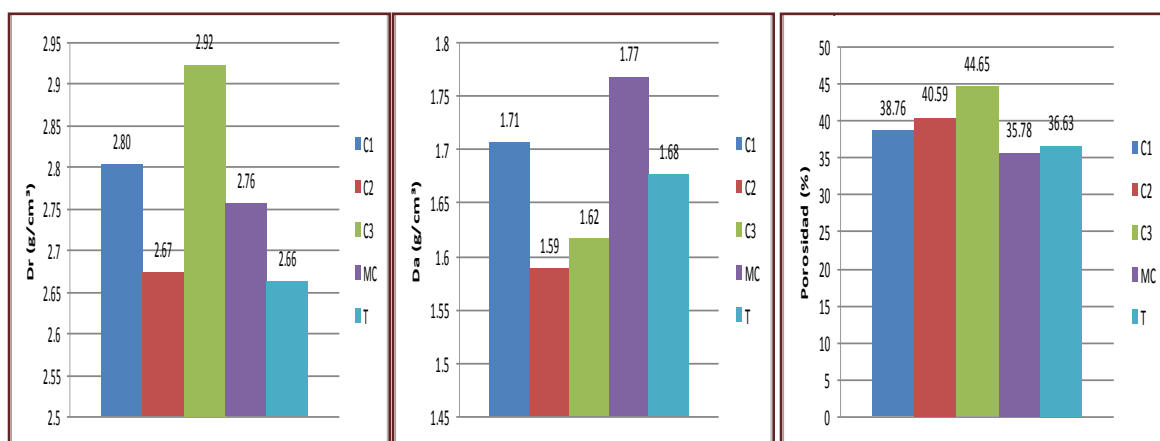


Figura 6.5 Análisis densidad real, densidad aparente y porosidad

Según la investigación realizada por Gopinath et al. (2008) la aplicación de enmiendas orgánicas disminuyó significativamente la densidad aparente, en

comparación con el tratamiento de fertilización mineral, la cual aumentó de 1.14 a 1.25 mg.m⁻³ después de un periodo de transición de 2 años. La densidad aparente (Da) es una de las propiedades más determinantes de las características de permeabilidad y aireación del suelo y su persistencia en el tiempo es reflejo de la estabilidad de los agregados (EA). Así, diversos autores coinciden en señalar que aplicaciones de M.O al suelo provocan una disminución de la Da, como consecuencia de un aumento de la macroporosidad (Seguel, 2003.).

Si bien los cambios no son significativos si se presentó una menor densidad aparente y una mayor porosidad con la aplicación de los tratamientos C2 y C3 en comparación con el MC, lo cual es corroborado por investigaciones en esta línea como la de Bouanani et al., (2002) citado por Cuevas, (2006) quienes afirman que un compost de residuos agrícolas, provoca un aumento de la microporosidad en comparación con la aplicación de lodo fresco de residuos sólidos urbanos, que genera en el corto plazo un aumento de la macroporosidad; en este sentido Cuevas et al. (2006) afirman que los efectos físicos sobre el suelo con las aplicaciones de materiales orgánicos, generan cambios en la estructura y en el sistema poroso; mayores cantidades de compost adicionados, generan menores valores de densidad aparente y aumentos en los valores de porosidad total. Sin embargo, la persistencia del efecto del material compostado sobre el suelo en el tiempo es baja.

- Comportamiento diámetro medio ponderado

La Figura 6.6 muestra que el diámetro medio ponderado (DMP) tuvo un mayor promedio para el tratamiento C3 (0.67 mm) y el menor para el MC (0.51 mm), lo cual indica una mejor estabilidad estructural con aplicaciones de compost. Sin embargo, este aumento es moderado y de acuerdo con la clasificación de estabilidad propuesta por Le Bissonnais y Le Souder (1995), la estructura es inestable.

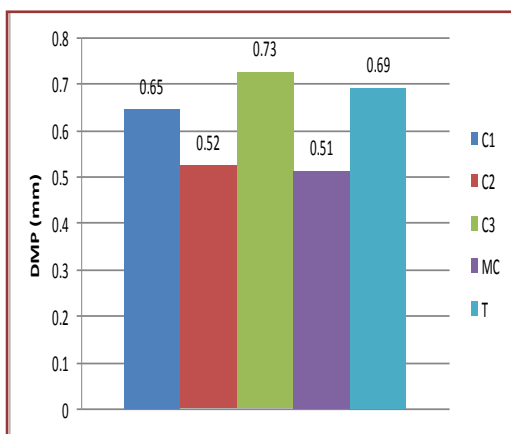


Figura 6.6 Análisis diámetro medio ponderado

El mayor promedio de DMP con la aplicación de C3 es debido a que este tipo de abono orgánico posee sustancias húmicas que ejercen un importante papel como mejorador del suelo, formando agregados de determinada estabilidad (Costa et al., 1995). Las sustancias húmicas, además de contribuir al aumento de la capacidad de retención hídrica mediante la formación de agregados, tienen la capacidad de embeber y retener grandes cantidades de agua debido a sus propiedades coloidales y formar enlaces de hidrógeno con el agua que luego parcialmente ponen a disposición de las plantas.

La aplicación de compost y fertilización mineral no presentó diferencias significativas para el presente estudio de propiedades físicas, pero en la investigación realizada por Celik et al. (2004) se encontraron que para la profundidad del suelo de 0-15 cm tratados con parcelas de compost y estiércol, se presentó una disminución significativa de la densidad aparente del suelo en comparación con otros tratamientos.

7. CONCLUSIONES

- ❖ El tratamiento C1 con 6 ton.Ha⁻¹ presentó el promedio de M.O (42.06 g.kg⁻¹) más alto respecto a los demás tratamientos aplicados, como también la más alta C.I.C (19.98 cmol.kg⁻¹) y el pH (7.45) más bajo en las tres profundidades evaluadas, tanto en el primer muestreo (30 días) como en el segundo (200 días).
- ❖ El tratamiento MC (urea + KCL) comparado con los demás tratamientos presentó el promedio de M.O más bajo (35.47 g.kg⁻¹), el pH más alto (7.8), el fósforo más bajo (51.24 mg.kg⁻¹), y el potasio más bajo (0.27 cmol.kg⁻¹).
- ❖ En general los resultados de la aplicación de compost en un suelo Typic Haplustolls cultivado con caña de azúcar permiten concluir que la mejor dosis de aplicación es la de 6 ton.Ha⁻¹ comparada con la de 12 y 18 ton.Ha⁻¹, ya que es asimilada en mayor proporción por el suelo aumentando la M.O y la C.I.C y disminuyendo el pH que se encontraba muy alcalino.
- ❖ El análisis de las propiedades químicas evaluadas entre los dos periodos de muestreo (30 y 200 días) permite observar una disminución en la M.O de 40.63 g.kg⁻¹ a 37.19 g.kg⁻¹, un aumento del pH de 7.56 a 7.64 unidades, una disminución del fósforo de 66.23 a 58.09 mg.kg⁻¹, una disminución del potasio de 0.40 a 0.25 cmol.kg⁻¹ y una disminución de la C.I.C de 19.40 a 19.16 cmol.kg⁻¹.
- ❖ El análisis de los resultados físicos del suelo realizado a los 200 días después de aplicados los tratamientos, determinó que el efecto de las enmiendas aplicadas no fue significativo de acuerdo con los resultados del análisis de varianza ($P < 0.05$) para las variables densidad aparente, densidad real, porosidad, estabilidad de agregados, % de arcilla y % arena, solo se presentó diferencia significativa para la variable respuesta limo (%).
- ❖ Se necesitan más aplicaciones de Compost en el tiempo para determinar su grado de influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que el lote donde se aplicaron los tratamientos tienen un manejo histórico de fertilización mineral.

8. RECOMENDACIONES

- ❖ Seguir investigando en esta línea con aplicaciones de Compost o enmiendas orgánicas, ya que una sola aplicación no puede definir un cambio sostenido en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- ❖ Ampliar el estudio hacia otros tipos de suelos para profundizar en la evaluación de las ventajas o desventajas de la aplicación de compost.
- ❖ Evaluar medidas vegetativas como: altura de la planta, diámetro, número de tallos, peso, longitud del tallo, análisis foliar y rendimiento debido al efecto de diferentes dosis de compost.
- ❖ Además de los tratamientos con fertilización orgánica e inorgánica utilizar un tratamiento adicional con la combinación de ambos y el muestreo inicial realizarlo para cada una de las unidades experimentales que se trabajarán en los muestreos en el tiempo.

9. BIBLIOGRAFÍA

Azcarate P. (2008). Manual de Fertilidad y evaluación de suelos. Ediciones INTA. EEA Anguil.pp.18, 19.

Asocaña. (2009). Informe Trimestral de Mercados. IV Trimestre. Citado el 03-06-2010. Disponible en www.asocana.org/documentos.

Burbano, O. (1989). El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos. Serie Investigaciones No1. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.pp.16, 23,31.

Bulluck, L., Brosius, M., Evanylo, G. & Ristaino, J. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 19(2), 147-160.

Carrillo, P. (1985). Manual de Laboratorio de Suelos. Cenicafe. Departamento de Biología y suelos.pp.8.

Cenicaña. (1993). Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilización para la caña de azúcar. Serie Técnica No.14. Cali, Colombia. pp14.

Cenicaña. (2002). Características Agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 8592. Serie Técnica No.30. Cali, Colombia.pp.8, 16.

Cepeda, D. (1991). Química de Suelos. Editorial Trillas. México.pp.65,109.

Celik, I., Ortas, I. and Kilic, S. (2004) 'Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil', *Soil & Tillage Research*,78(1), 59-67.

Clark, M., Horwath, W., Shennan C et al (1998) Changes in soil chemical properties resulting from organic and lowinput farming practices. *Agron J* 90:662–671

Cortez A. (1976). Taxonomía de Suelos. Subdirección Agrológica, Volumen XII. Bogotá, Colombia.pp.45

Cobertera E. (1993). Edafología Aplicada: Suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales. Editorial Cátedra. España.pp17, 53

El Mundo de la Composta. (2002). Consultado el 05 de Abril de 2011. <http://www.tierramor.org/permacultura/composta>.

Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. (1995). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. pp181

Cuevas, J., Seguel, O., Ellies, A., Dörner, J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6 (2): 1-12.

Chirinos, I. (2007). Evaluación de la estabilidad de agregados de dos suelos de Masquefa como respuesta a diferentes dosis de material orgánico compostado. *Ciencia* 15, pp 47-53.

FAO, (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y agua de la FAO, No 8, Roma, p226

FitzPatrick, E. (1996). Introducción a la Ciencia de los Suelos. Editorial Trillas. México. pp.126, 127,128

Gopinath, K., Saha, S., Mina, B., Pande, H., Kundu, S., Gupta, H. (2008). Influence of organic amendments on growth, yield and quality of wheat and on soil properties during transition to organic production. *Nutr Cycl Agroecosyst* 82:51–60

Graetz, H. (2008). Suelos y Fertilización. Editorial Trillas, México. pp.28

Guerrero, R. (1991). Fertilización de Cultivos en Clima Cálido. Monómeros Colombo Venezolanos, S.A.p.86.

Haynes, R. (2008). Soil Organic Matter Quality and the Size and Activity of the Microbial Biomass: Their Significance to the Quality of Agricultural Soils. *Soil Mineral Microbe-Organic Interactions*. pp 201-231

Holguín, M. (2010). Entrevista personal a la representante de venta del área de importaciones (CIAMSA). Ingeniera Agrónoma. 15-03 de 2011.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2004). Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el Valle Geográfico del río Cauca. pp17.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Bogotá, D.C. pp407-409.

Jackson, M. (1970). Análisis químico de suelos. Ediciones Omega S.A. Barcelona. p185.

Jaramillo, D. (2001). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias, Medellín.

Jouquet, E., Bloquel, E., Doan, T., Ricoy, M., Orange, D., Rumpel, C. and Duc, T. T. (2011) 'Do Compost and Vermicompost Improve Macronutrient Retention and Plant Growth in Degraded Tropical Soils?', *Compost Science & Utilization*, 19(1), 15-24.

Juárez, M., Sánchez, J., Sánchez, A. (2006). Química del Suelo y Medio Ambiente. Publicaciones Universidad de Alicante. p293.

Kloster, N. (2008). Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos. Ediciones INTA. EEA Anguil. pp.17

Kuo, S., Sainju, U., Jellum, E. (1997). Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci Soc Am J* 61:145–152

Le Bissonnais, Y., Le Souder, C. (1995). Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etudes et Gestion des Sols* 2: 43-56.

López, L. (1995). Biorremediación y fitorremediación en suelos contaminados. Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense. pp 25.

Malagón, C. (1995). Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. "IGAC". Subdirección Agrología. Santafé de Bogotá. pp.425, 427, 541.

Meléndez, G. (2003). Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. En: *Abonos orgánicos: Principios, características e impacto en la agricultura*. San José, Costa Rica. pp.63.

Montenegro, G.H., Malagón, D. (1990). *Propiedades Físicas de los Suelos.*" IGAC". Subdirección Agrología. Bogotá, D. C., Colombia. pp.59, 62, 69.

Micó, C. (2005). Estudio de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de alicante. Tesis de Doctorado. Universidad de Valencia.

Narro, F. (2004). Física de Suelos con enfoque Agrícola. Editorial Trillas. México. pp.17, 35, 50

Obando, F., Villegas, A. (2005). Variabilidad Espacial De Propiedades Químicas y Físicas En Un Typic Udivitrands, Arenoso De La Región Andina Central

Colombiana, Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. pp.45

Plaster, E. (2000). La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Praninfo. Madrid España. pp.7, 18.

Pazos, M. y Mestelan, S. (2002). Relevamiento del nivel de P disponible, pH y M.O en el Centro de la Provincia de Buenos Aires. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 14:8-10

Pérez-Piqueres, A., Edel-Hermann, V., Alabouvette, C., Steinberg, C., (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. Soil Biol. Biochem. pp38, 460–470.

Pineda, H. (2004). Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus* L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima.

Porta, J. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Universidad de Lleida. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. pp23, 122, 465.

Producción Abonos Orgánicos. (n.d.). Consultado el 7 de Abril de 2011. <http://www.coopcoffees.com/for-producers/documentation/agriculture/produccion-de-abono-organico.pdf>

Principales Propiedades Físicas de los suelos. (2007). Consultada del 5 de Abril de 2011. http://www.quiminet.com/ar3/ar_hgsAAAssRsDF-principales-propiedades-fisicas-de-los-suelos.htm.

Quiroga, A., Romano, N. (2008). Manual de Fertilidad y evaluación de suelos Ediciones INTA. EEA Anguil. pp23

Quintero, D., Gómez, J. (2006). Elaboración de Compost a partir de Cachaza, Carbonilla y Vinaza en el Ingenio Manuelita S.A. Revista “Carta Trimestral”. CENICAÑA. Cali, Colombia.

Roca A., Vidal E., Paz A. (2001). Uso de Compost procedente de Residuos Sólidos Urbanos como enmienda Orgánica en diferentes suelos de Cultivo. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad da Coruña, España.

Roca, A., Paz, A., Vidal, E. (2008). Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo tras la adición de compost procedente de RSU. Actas del VIII Congreso SEAE. Murcia. pp266.

Rodríguez, F. (2002). Métodos de Análisis de Suelos y Plantas, Criterios de Interpretación. Editorial Trillas. Mexico.pp17

Rosal, A., Pérez, J., Arcos, M. (2008). La Incidencia de Metales Pesados en Compost de Residuos Sólidos Urbanos y en su uso agronómico en España. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Córdoba. Consultada el 16 de Octubre de 2010.

Ruiz, E. (1999). Efecto de cuatro sistemas de labranza en el mejoramiento de algunas propiedades físicas del suelo de un Vertisol cultivado intensivamente, en el valle geográfico del río Cauca. Trabajo de grado de Maestría. Escuela de Posgrados. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Salamanca, S. (1999). Suelos y Fertilizantes. Universidad Santo Tomas. Ediciones USTA. Bogotá, D.C., Colombia.94, 98,109p.

Sánchez, M. (2003). Determinación de Metales Pesados en Suelos de Mediana del Campo Valladolid: contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia. Tesis Doctorado. Biblioteca Visual Miguel de Cervantes.

Seguel, S., García de Cortázar, V. y Casanova, P., Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. Agric. Téc. [online]. (2003), vol.63, n.3 [citado 2011-07-02], pp. 287-297. Disponible en: <<http://www.scielo.cl/scielo.php>

Silva, F. (1984). Fertilidad de los suelos diagnósticos y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá D:C. Colombia.pp86.

Subirós, F. (2000). El Cultivo de la Caña de Azúcar. Editorial EUNED. San Jose, Costa Rica. pp92

Sztern, D., y Pravia, M. (1999). Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. (En línea). Montevideo. Organización Panamericana de la Salud. (Consultado 03 de Octubre de 2010). <http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>

Tejada, M., Garcia-Martinez, A. and Parrado, J. (2009). 'Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration', Catena, 77(3), 238-247.

USDA (2006). Claves para la Taxonomía de Suelos. Soil Survey Staff. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales.Décima Edición.

USDA (1999). Taxonomía de Suelos, El Sistema Básico de Clasificación de Suelos para Realización de Estudios de Suelos e Interpretación. Segunda Edición.

Urricariet, S y Lavado, R (1999). Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. Ciencia del Suelo. Consultado el 30 de Junio de 2011. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/urricariet/>.

Valerio, L. (2000). Conceptos básicos en fertilidad de suelos. In: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo (eds.) Curso Manejo de la fertilidad de los suelos. Maracay, Edo. Aragua. Venezuela. pp12

Wright, A. (2009). Soil phosphorus stocks and distribution in chemical fractions for long-term sugarcane, pasture, turfgrass, and forest systems in Florida. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 83: 223-231

Wright, A., Hanlon, E., Sui, D. and Rice, D. (2009). Soil pH Effects on Nutrient Availability in the Everglades Agricultural Area. Consultada el 01 de Julio de 2011 en <http://edis.ifas.ufl.edu>.

Zurro, P. (2005). Producción de abonos y fertilizantes a partir de subproductos de la industria azucarera orgánica. Consultada el 01 de Noviembre de 2010. <http://www.elparanaence.com.ar/pdf/memorasabonosIngSanJavierMNES>.

Zuñiga, E. (2003). Evaluación del estado de compactación, degradación, actividad microbiana y reserva energética de suelos sembrados con caña de azúcar utilizando el método electrotérmico y su implementación en un sistema de información geográfica. Departamento de Física, Grupo de Investigación en ciencia Ambientales y de la Tierra , ILAMA, Trabajo de Investigación de la Universidad del Valle presentado a la corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Colombia.

10. ANEXOS

El anexo 1 muestra la aplicación de los tratamientos de compost y manejo convencional.



Anexo 1. Gráfica Aplicación de Tratamientos

Anexo 2. Análisis de Laboratorio

- Análisis de pH

Para su determinación se usó el potenciómetro con electrodo de vidrio con una relación suelo: agua por volumen de 1: 1 se mezcló en un vaso de precipitados 50 g de suelo seco tamizado, con 50 ml de agua destilada, la mezcla se deja en reposo durante una hora luego se agita con una varilla de vidrio durante 60 segundos, y se lee en el potenciómetro (Anexo 2a). La reacción del suelo se expresa en unidades de pH. Antes de la lectura de pH primero que todo se calibró el potenciómetro con muestras Buffer con pH de 4, 7 y 10.



Anexo 2a Gráfica lectura del pH.

- **Materia Orgánica**

Se calcula indirectamente mediante la determinación del carbono (C) orgánico por el método de oxidación de Walkley Black. El carbono orgánico se oxida con ácido sulfúrico concentrado y posteriormente se determina en forma colorimétrica. La materia orgánica se expresa en porcentaje ó en g.kg^{-1} , (Cenicaña, 1993).

- **Fosforo (P)**

Se utilizó el método de Bray II, la extracción del fósforo disponible se efectúa con una mezcla de fluoruro de amonio (NH_4F) 0.03 N y ácido clorhídrico (HCL) 0.1N. El fósforo disponible del suelo se expresa en partes por millón (ppm) ó en miligramos por kilogramo (mg.Kg^{-1}), (Cenicaña, 1993).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico.**

Uno de los métodos para analizar la capacidad de intercambio catiónico es por medio de Amonio Acetato y Volumétrico el cual se realiza mediante el proceso de dos etapas: primero el complejo coloidal del suelo se satura con un catión seleccionado (comúnmente amonio); en este proceso se eliminan todos los cationes intercambiables originalmente asociados con el complejo coloidal. Luego el catión saturante es desplazado cuantitativamente por otro catión seleccionado (catión remplazante), y la cantidad desplazada se mide y expresa en términos de (cmol.kg^{-1}). (Rodríguez, 2002).

- **Textura**

El análisis físico mecánico o de textura se realizó por el método de Bouyoucous o del hidrómetro (Anexo 2b). Como agente dispersante se utiliza una solución de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ y carbonato de sodio (NaCO_3), se mezclan con 20g de suelo y se licua durante 15 minutos, se deja reposar 2 horas y luego se toma la lectura del hidrómetro a los 10 segundos y a las 2 horas. La textura se denomina según el tamaño o los tamaños de las partículas que predominan en el suelo. Los valores obtenidos se interpolan en el triangulo textural y se obtuvo la textura de los suelos.



Anexo 2b Gráfica Lectura Textura del Suelo por el método de Bouyoucous.

- **Densidad Real**

El análisis de la densidad Real se realizó por el método del picnómetro, para ello utilizamos, suelo seco tamizado, picnómetro de 25 o 60 mL. Se pesa el picnómetro vacío, luego se agregan 2gr de suelo seco, se agrega agua destilada, posteriormente se lleva a la campana de vacío, registrar el nuevo peso en estas condiciones y realizar los cálculos respectivos. (IGAC, 2006).

- **Densidad Aparente**

Para determinar la densidad aparente se utilizó el método del cilindro (Anexo 1c), para ello se requiere balanza de aproximación de 0.01g, estufa con regulador de T° apropiado, anillos metálicos de dimensiones conocidas, papel aluminio. Se pone a secar la muestra en la estufa por 24h a 105°C. Se pesa la muestra seca y con el volumen conocido del cilindro se determina la densidad aparente del suelo.

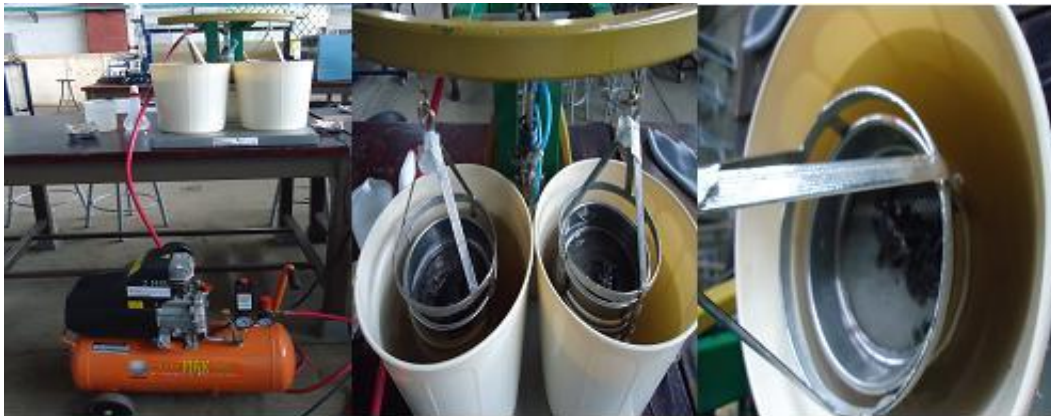


Anexo 2c Gráfica lectura de densidad aparente

- Estabilidad de Agregados

La distribución del tamaño de los agregados fue determinada utilizando el método de tamizado húmedo (Yoder) (Anexo 1d), con tamices de 2 mm, 0.85 mm, 0.5 mm, y 0.25 mm un tamaño de muestra de 50 g y se expresó con el diámetro medio ponderado (DMP). Como una medida de la estabilidad estructural del suelo, el diámetro medio ponderado fue calculado utilizando la siguiente fórmula $DMP = \sum(\% \text{ suelo retenido} \times \text{abertura en mm}) \text{ de todas las mallas} / 100$. El diámetro medio ponderado (DMP) se usó como índice de comparación de la distribución de los agregados; correspondiente a la suma del porcentaje de suelo que permanece en cada tamiz después del tamizado, multiplicado por el diámetro medio de malla de los tamices adyacentes.

. Método de Tamizado Humedo. Yoder



Anexo 1d Gráfica Lectura diámetro medio ponderado.

El anexo 3 presenta los resultados de las pruebas físicas a los 200 días después de la aplicación de los tratamientos.

Anexo 3. Resultados propiedades Físicas

Tratamiento	Dr (g/cm³)	Da (g/cm³)	Porosidad (%)	%Arcilla	%Arena	%Limo	Clase Textural	DMP (mm)
T011	2.8	1.47	47.42	31.76	29.68	38.56	Franco Ar	0.8
T021	2.72	1.73	36.25	31.76	29.68	38.56	Franco Ar	0.65
T031	2.47	1.82	26.21	31.76	31.68	36.56	Franco Ar	0.63
MC011	2.68	1.83	31.53	33.6	29.12	37.28	Franco Ar	0.54
MC021	2.75	1.78	35.15	33.6	31.12	35.28	Franco Ar	0.67
MC031	2.84	1.69	40.65	33.6	31.12	35.28	Franco Ar	0.33
C311	2.89	1.63	43.59	31.6	26.4	42	Franco Ar	1.02
C321	3.06	1.61	47.52	31.6	26.4	42	Franco Ar	0.85
C331	2.82	1.61	42.83	29.6	29.12	41.28	Franco Ar	0.32
C211	2.81	1.68	40.23	29.6	33.12	37.28	Franco Ar	0.57
C221	2.63	1.57	40.49	33.6	29.12	37.28	Franco Ar	0.63
C231	2.58	1.52	41.05	34.32	24.4	41.28	Franco Ar	0.38
C111	2.79	1.74	37.73	30.32	26.4	43.28	Franco Ar	0.63
C121	2.6	1.76	32.12	34.32	26.4	39.28	Franco Ar	0.67
C131	3.02	1.62	46.45	35.6	29.12	35.28	Franco Ar	0.64

Anexo 4. Análisis estadístico realizado con el programa SAS

Anexo 4a. Análisis estadístico con ANOVA

Sistema SAS

```

                                Procedimiento GLM
                                Información de nivel de clase

Clase      Niveles  Valores
TRAT              5  COMPOST I COMPOST II COMPOST III MANEJO CONVENCIONAL TESTIGO
MUESTREO          2   1 2
PROF              3   1 2 3
BLOQUE           3   1 2 3

                                Número de observaciones leídas      90
                                Número de observaciones usadas      90
```

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: V2 Materia Orgánica Final (g/kg)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	59	1786.279490	30.275924	6.62	<.0001
Error	30	137.214600	4.573820		
Total correcto	89	1923.494090			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	V2 Media
0.928664	5.496447	2.138649	38.90967

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	210.5415200	105.2707600	23.02	<.0001
PROF	2	306.8146067	153.4073033	33.54	<.0001
PROF*BLOQUE	4	10.7279733	2.6819933	0.59	0.6750
TRAT	4	498.8592178	124.7148044	27.27	<.0001
TRAT*PROF	8	98.6778489	12.3347311	2.70	0.0230
TRAT*PROF*BLOQUE	24	311.4299733	12.9762489	2.84	0.1237
MUESTREO	1	267.3234678	267.3234678	58.45	<.0001
MUESTREO*PROF	2	6.9675622	3.4837811	0.76	0.4757
TRAT*MUESTREO	4	54.8471378	13.7117844	3.00	0.0341
TRAT*MUESTREO*PROF	8	20.0901822	2.5112728	0.55	0.8100

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	210.5415200	105.2707600	23.02	<.0001
PROF	2	306.8146067	153.4073033	33.54	<.0001
PROF*BLOQUE	4	10.7279733	2.6819933	0.59	0.6750
TRAT	4	498.8592178	124.7148044	27.27	<.0001
TRAT*PROF	8	98.6778489	12.3347311	2.70	0.0230
TRAT*PROF*BLOQUE	24	311.4299733	12.9762489	2.84	0.1237
MUESTREO	1	267.3234678	267.3234678	58.45	<.0001
MUESTREO*PROF	2	6.9675622	3.4837811	0.76	0.4757
TRAT*MUESTREO	4	54.8471378	13.7117844	3.00	0.0341
TRAT*MUESTREO*PROF	8	20.0901822	2.5112728	0.55	0.8100

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	210.5415200	105.2707600	39.25	0.0024
PROF	2	306.8146067	153.4073033	57.20	0.0011

Variable dependiente: V2 Materia Orgánica Final (g/kg)

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para
TRAT*PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	4	498.8592178	124.7148044	9.61	<.0001
TRAT*PROF	8	98.6778489	12.3347311	0.95	0.4955

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: v4 pH Final

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	59	3.18143222	0.05392258	12.13	<.0001
Error	30	0.13340000	0.00444667		
Total correcto	89	3.31483222			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	v4 Media
0.959757	0.876784	0.066683	7.605444

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	0.82697556	0.41348778	92.99	<.0001
PROF	2	0.08886222	0.04443111	9.99	0.0005
PROF*BLOQUE	4	0.01356444	0.00339111	0.76	0.5579
TRAT	4	1.26160444	0.31540111	70.93	<.0001
TRAT*PROF	8	0.15741556	0.01967694	4.43	0.0013
TRAT*PROF*BLOQUE	24	0.59506000	0.02479417	5.58	0.0754
MUESTREO	1	0.12618778	0.12618778	28.38	<.0001
MUESTREO*PROF	2	0.01680889	0.00840444	1.89	0.1686
TRAT*MUESTREO	4	0.05608444	0.01402111	3.15	0.0281
TRAT*MUESTREO*PROF	8	0.03886889	0.00485861	1.09	0.3952

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	0.82697556	0.41348778	92.99	<.0001
PROF	2	0.08886222	0.04443111	9.99	0.0005
PROF*BLOQUE	4	0.01356444	0.00339111	0.76	0.5579
TRAT	4	1.26160444	0.31540111	70.93	<.0001
TRAT*PROF	8	0.15741556	0.01967694	4.43	0.0013
TRAT*PROF*BLOQUE	24	0.59506000	0.02479417	5.58	0.0754
MUESTREO	1	0.12618778	0.12618778	28.38	<.0001
MUESTREO*PROF	2	0.01680889	0.00840444	1.89	0.1686
TRAT*MUESTREO	4	0.05608444	0.01402111	3.15	0.0281
TRAT*MUESTREO*PROF	8	0.03886889	0.00485861	1.09	0.3952

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	0.82697556	0.41348778	121.93	0.0003
PROF	2	0.08886222	0.04443111	13.10	0.0175

Variable dependiente: v4 pH Final

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para
TRAT*PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	4	1.26160444	0.31540111	12.72	<.0001
TRAT*PROF	8	0.15741556	0.01967694	0.79	0.6135

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: V6 Fósforo Final (mg/kg)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	59	15450.64918	261.87541	1.89	0.0294
Error	30	4145.98447	138.19948		
Total correcto	89	19596.63365			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	V6 Media
0.788434	18.91271	11.75583	62.15833

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	746.225047	373.112523	2.70	0.0835
PROF	2	3447.253247	1723.626623	12.47	0.0001
PROF*BLOQUE	4	422.321387	105.580347	0.76	0.5570
TRAT	4	2895.883289	723.970822	5.24	0.0025
TRAT*PROF	8	1364.833398	170.604175	1.23	0.3137
TRAT*PROF*BLOQUE	24	3674.545033	153.106043	1.11	0.3909
MUESTREO	1	1491.573690	1491.573690	10.79	0.0026
MUESTREO*PROF	2	421.246887	210.623443	1.52	0.2342
TRAT*MUESTREO	4	208.050893	52.012723	0.38	0.8237
TRAT*MUESTREO*PROF	8	778.716313	97.339539	0.70	0.6853

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	746.225047	373.112523	2.70	0.0835
PROF	2	3447.253247	1723.626623	12.47	0.0001
PROF*BLOQUE	4	422.321387	105.580347	0.76	0.5570
TRAT	4	2895.883289	723.970822	5.24	0.0025
TRAT*PROF	8	1364.833398	170.604175	1.23	0.3137
TRAT*PROF*BLOQUE	24	3674.545033	153.106043	1.11	0.3909
MUESTREO	1	1491.573690	1491.573690	10.79	0.0026
MUESTREO*PROF	2	421.246887	210.623443	1.52	0.2342
TRAT*MUESTREO	4	208.050893	52.012723	0.38	0.8237
TRAT*MUESTREO*PROF	8	778.716313	97.339539	0.70	0.6853

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	746.225047	373.112523	3.53	0.1306
PROF	2	3447.253247	1723.626623	16.33	0.0119

Variable dependiente: V6 Fósforo Final (mg/kg)

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para TRAT*PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	4	2895.883289	723.970822	4.73	0.0059
TRAT*PROF	8	1364.833398	170.604175	1.11	0.3886

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: V8 Potasio Final (cmol/kg)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	59	1.28343222	0.02175309	6.34	<.0001
Error	30	0.10286667	0.00342889		
Total correcto	89	1.38629889			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	V8 Media
0.925798	17.73849	0.058557	0.330111

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	0.07491556	0.03745778	10.92	0.0003
PROF	2	0.21158222	0.10579111	30.85	<.0001
PROF*BLOQUE	4	0.00537111	0.00134278	0.39	0.8130
TRAT	4	0.09499333	0.02374833	6.93	0.0004
TRAT*PROF	8	0.01324000	0.00165500	0.48	0.8587
TRAT*PROF*BLOQUE	24	0.33884667	0.01411861	4.12	0.0935
MUESTREO	1	0.45938778	0.45938778	133.98	<.0001
MUESTREO*PROF	2	0.05766222	0.02883111	8.41	0.0013
TRAT*MUESTREO	4	0.01105111	0.00276278	0.81	0.5313
TRAT*MUESTREO*PROF	8	0.01638222	0.00204778	0.60	0.7724

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	0.07491556	0.03745778	10.92	0.0003
PROF	2	0.21158222	0.10579111	30.85	<.0001
PROF*BLOQUE	4	0.00537111	0.00134278	0.39	0.8130
TRAT	4	0.09499333	0.02374833	6.93	0.0004
TRAT*PROF	8	0.01324000	0.00165500	0.48	0.8587
TRAT*PROF*BLOQUE	24	0.33884667	0.01411861	4.12	0.0935
MUESTREO	1	0.45938778	0.45938778	133.98	<.0001
MUESTREO*PROF	2	0.05766222	0.02883111	8.41	0.0013
TRAT*MUESTREO	4	0.01105111	0.00276278	0.81	0.5313
TRAT*MUESTREO*PROF	8	0.01638222	0.00204778	0.60	0.7724

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	0.07491556	0.03745778	27.90	0.0045
PROF	2	0.21158222	0.10579111	78.79	0.0006

Variable dependiente: V8 Potasio Final (cmol/kg)

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para
TRAT*PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	4	0.09499333	0.02374833	1.68	0.1869
TRAT*PROF	8	0.01324000	0.00165500	0.12	0.9980

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: V10 CIC Final (cmol/kg)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	59	130.6712222	2.2147665	4.84	<.0001
Error	30	13.7266667	0.4575556		
Total correcto	89	144.3978889			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	V10 Media
0.904939	3.508245	0.676429	19.28111

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	14.16022222	7.08011111	15.47	<.0001
PROF	2	2.37222222	1.18611111	2.59	0.0915
PROF*BLOQUE	4	1.59244444	0.39811111	0.87	0.4933
TRAT	4	29.36844444	7.34211111	16.05	<.0001
TRAT*PROF	8	8.76555556	1.09569444	2.39	0.0396
TRAT*PROF*BLOQUE	24	64.43400000	2.68475000	5.87	0.1541
MUESTREO	1	1.32011111	1.32011111	2.89	0.0998
MUESTREO*PROF	2	1.19622222	0.59811111	1.31	0.2856
TRAT*MUESTREO	4	3.26488889	0.81622222	1.78	0.1581
TRAT*MUESTREO*PROF	8	4.19711111	0.52463889	1.15	0.3624

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	14.16022222	7.08011111	15.47	<.0001
PROF	2	2.37222222	1.18611111	2.59	0.0915
PROF*BLOQUE	4	1.59244444	0.39811111	0.87	0.4933
TRAT	4	29.36844444	7.34211111	16.05	<.0001
TRAT*PROF	8	8.76555556	1.09569444	2.39	0.0396
TRAT*PROF*BLOQUE	24	64.43400000	2.68475000	5.87	0.1541
MUESTREO	1	1.32011111	1.32011111	2.89	0.0998
MUESTREO*PROF	2	1.19622222	0.59811111	1.31	0.2856
TRAT*MUESTREO	4	3.26488889	0.81622222	1.78	0.1581
TRAT*MUESTREO*PROF	8	4.19711111	0.52463889	1.15	0.3624

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
BLOQUE	2	14.16022222	7.08011111	17.78	0.0102
PROF	2	2.37222222	1.18611111	2.98	0.1613

Variable dependiente: V10 CIC Final (cmol/kg)

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para TRAT*PROF*BLOQUE como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	4	29.36844444	7.34211111	2.73	0.0525
TRAT*PROF	8	8.76555556	1.09569444	0.41	0.9047

Anexo 4b. Prueba de .DUNCAN

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V2

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	4
Error de cuadrado medio	2.681993

Número de medias	2	3
Rango crítico	1.174	1.200

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	PROF
A	40.6813	30	1
A			
A	39.6850	30	2
B	36.3627	30	3

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para v4

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	4
Error de cuadrado medio	0.003391

Número de medias	2	3
Rango crítico	.04175	.04266

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	PROF
A	7.64767	30	3
B	7.59633	30	2
B			
B	7.57233	30	1

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V6

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	4
Error de cuadrado medio	105.5803

Número de medias	2	3
Rango crítico	7.366	7.527

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	PROF
A	68.832	30	1
A			
A	63.726	30	2
B	53.917	30	3

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V8

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	4
Error de cuadrado medio	0.001343

Número de medias	2	3
Rango crítico	.02627	.02684

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	PROF
A	0.393000	30	1
B	0.322333	30	2
C	0.275000	30	3

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V10

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	4
Error de cuadrado medio	0.398111

Número de medias	2	3
Rango crítico	.4523	.4622

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	PROF
A	19.4200	30	1
A			
A	19.3700	30	2
A			
A	19.0533	30	3

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V2

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	24
Error de cuadrado medio	12.97625

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	2.478	2.603	2.683	2.739

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento		Media	Número de observaciones	TRAT
	A	42.058	18	COMPOST I
	A			
B	A	40.927	18	TESTIGO
B				
B	C	38.508	18	COMPOST III
	C			
D	C	37.582	18	COMPOST II
D				
D		35.473	18	MANEJO CONVENCIONAL

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para v4

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	24
Error de cuadrado medio	0.024794

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.1083	.1138	.1173	.1197

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	TRAT
A	7.80000	18	MANEJO CONVENCIONAL
B	7.63222	18	TESTIGO
B	7.62778	18	COMPOST III
C	7.50944	18	COMPOST II
C	7.45778	18	COMPOST I

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V6

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	24
Error de cuadrado medio	153.106

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	8.513	8.941	9.216	9.410

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	TRAT
A	66.761	18	COMPOST I
A			
A	66.447	18	TESTIGO
A			
A	63.261	18	COMPOST II
A			
A	63.084	18	COMPOST III
B	51.239	18	MANEJO CONVENCIONAL

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V8

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	24
Error de cuadrado medio	0.014119

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	.08175	.08586	.08850	.09036

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	TRAT
A	0.36444	18	TESTIGO
A			
A	0.36278	18	COMPOST I
A			
A	0.33333	18	COMPOST III
A			
A	0.31167	18	COMPOST II
A			
A	0.27833	18	MANEJO CONVENCIONAL

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V10

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	24
Error de cuadrado medio	2.68475

Número de medias	2	3	4	5
Rango crítico	1.127	1.184	1.220	1.246

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	TRAT
A	19.9778	18	COMPOST I
A			
A	19.5889	18	TESTIGO
A			
A	19.5611	18	COMPOST III
A			
B A	18.9111	18	COMPOST II
B			
B	18.3667	18	MANEJO CONVENCIONAL

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V2

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	30
Error de cuadrado medio	4.57382

Número de medias	2
Rango crítico	.9208

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	MUESTREO
A	40.6331	45	1
B	37.1862	45	2

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para v4

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	30
Error de cuadrado medio	0.004447

Número de medias	2
Rango crítico	.02871

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	MUESTREO
A	7.64289	45	2
B	7.56800	45	1

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V6

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	30
Error de cuadrado medio	138.1995

Número de medias	2
Rango crítico	5.061

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	MUESTREO
A	66.229	45	1
B	58.087	45	2

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V8

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	30
Error de cuadrado medio	0.003429

Número de medias	2
Rango crítico	.02521

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	MUESTREO
A	0.40156	45	1
B	0.25867	45	2

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango múltiple de Duncan para V10

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	30
Error de cuadrado medio	0.457556

Número de medias	2
Rango crítico	.2912

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	Número de observaciones	MUESTREO
A	19.4022	45	1
A			
A	19.1600	45	2