

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-LEON
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA INGENIERIA EN AGROECOLOGIA TROPICAL
CUR SOMOTO**



Efecto de la incorporación de abonos orgánicos (compost y Lombrihumus) al suelo de la finca Belén, Dipilto, periodo comprendido de mayo a noviembre de 2013.

Presentado por:

Br. Marcio Ivan Castillo Pérez
Br. Junnior Alcides Moncada Ponce
Br. Wiston Armando Corea Carazo

TUTOR

M.Sc. Jorge Luis Rostran
Ing. Fermín Omar Díaz

Somoto, Junio del 2014.

A la libertad por la universidad

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
I. Introducción	4
II. Objetivos	6
III. Hipótesis	7
IV. Marco teorico	8
4.1. Abono orgánico	8
4.1.1. Importancia de los abonos orgánicos	9
4.1.2. Tipos de abonos orgánicos.	10
4.1.2.1. Abonos orgánicos sólidos.	10
4.1.2.1.1. Compost.	10
4.1.2.1.1.1. El proceso de compostaje	11
4.1.2.1.1.2. Etapas del compostaje	12
4.1.2.1.1.3. Condiciones a controlar en el proceso de compostaje.	12
4.1.2.1.1.3.1. Relación c/n	12
4.1.2.1.1.3.2. Ph	14
4.1.2.1.1.3.3. Humedad	14
4.1.2.1.1.3.4. Aireación	15
4.1.2.1.1.4. Características del compost.	16
4.1.2.1.1.5. Microorganismos en el proceso de compostaje.	17
4.1.2.1.2. Lombrihumus.	18
4.1.2.1.3. Bokashi.	22
4.1.2.2. Abonos orgánicos líquidos	22
4.1.3. Ventajas del uso de abono orgánico	23
4.1.4. Desventajas del uso de abono orgánico	25
4.2. El suelo.	25
4.2.1. Características químicas.	26
4.2.1.1. pH	26
4.2.1.2. Materia orgánica	26
4.2.1.3. Capacidad de intercambio cationico	27
4.2.1.4. Nutrientes	28
4.2.1.4.1. Nitrógeno	28
4.2.1.4.1.1. El nitrógeno en el suelo	28
4.2.1.4.2. El fosforo	30
4.2.1.4.2.1. El fosforo en el suelo	31
4.2.1.4.3. El potasio	31
4.2.1.4.3.1. El potasio en el suelo	32
4.2.2. Características físicas.	33
4.2.2.1. Infiltración	33
4.2.2.2. Densidad aparente	33
4.2.2.3. Compactación.	34
4.2.2.4. Pendiente	35
4.2.2.5. Textura	35
4.2.2.5.1. Clase de suelo	36
V. Materiales y metodos	38

4.2. Descripción de la zona de estudio	38
4.3. Diseño experimental	39
4.4. Definición de tratamientos	39
4.5. Establecimiento del experimento	40
4.6. Diseño del trabajo experimental	42
4.7. Variables evaluadas	43
4.7.2. Características químicas	43
4.7.3. Características físicas	44
4.8. Análisis estadístico	47
VI. Resultados y discusion	48
VII. Conclusiones	54
VIII. Recomendaciones	55
IX. Bibliografía	56
X. Anexos	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de lombrihumus.	20
Tabla 2 Clases texturales según el porcentaje de arena, limo y arcilla	37
Tabla 3 Definición de los tratamientos en estudio.	39
Tabla 4 Resultados en el contenido de N-P-K antes y después de la incorporación de compost y lombrihumus.	48
Tabla 5 Promedios de pH, CE y MO antes y después de los tratamientos aplicados (compost y lombrihumus) al suelo.	49
Tabla 6 Porcentaje de arena, arcilla y limo antes y después de incorporado los abonos orgánicos compost y Lombrihumus al suelo.	51
Tabla 7 Promedio Densidad aparente, Capacidad de retención y Capacidad de infiltración antes y después de incorporado los abonos orgánicos (compost y lombrihumus) a suelo.	52
Tabla 8 Fertilidad del suelo antes y después de la incorporación de los abonos (compost y lombriabono).	64
Tabla 9 Porcentaje de limo, arcilla y arena del suelo antes y después de la incorporación.	64
Tabla 10 Densidad aparente, capacidad de retención y capacidad de infiltración.	65
Tabla 11 Niveles óptimos según laboratorio LAQUISA	65
Tabla 12 Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo (Arshad et al., 1996)	65
Tabla 13 Velocidades de infiltración (Servicio de conservación de recursos naturales)	66
Tabla 14 criterios usados para evaluar los niveles de pH en el suelo (Laboratorio de suelo UNAN-LEON)	66
Tabla 15 Criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno total (Moreno, 1978).	66
Tabla 16 Interpretación de análisis de suelo (laboratorio de suelo UNAN-LEON)	67
Tabla 17 ANOVA N-P-K	68
Tabla 18 ANOVA pH, CE, MO	68
Tabla 19 Comparaciones múltiples N-P-K	69
Tabla 20 Comparaciones múltiples pH, MO, CE	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Ilustración 1 Diseño del área de estudio y puntos de extracción de muestras antes y después de incorporado los abonos.	42
Grafico 2 Porcentaje de N-P-K antes y después de incorporado los abonos (compost y lombrihumus)	71
Grafico 3 Promedio pH, CE, y MO antes y después de incorporado los abonos (compost y lombrihumus)	71

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de materia orgánica	43
Ecuación 2 Capacidad de retención	44
Ecuación 3 Textura	45
Ecuación 4 Densidad aparente	46
Ecuación 5 Capacidad de infiltración	46
Ecuación 6 Porcentaje de humedad.	73
Ecuación 7 Peso de suelo seco (Pss).	73

DEDICATORIA

- A mis padres, **Marcio Ramón Castillo Gómez y Esperanza Pérez Torrez**, las personas de mayor importancia en mi vida porque me han brindado su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera, y durante la elaboración de nuestra monografía.
- A mis abuelitas **Victoria Pérez (Q.E.P.D)** y **Ana Gómez**, A mi abuelito **Cruz Castro** por ser parte importante de mi vida.
- A mis tíos **Leana Gómez y Donald Gómez**, por brindarme su apoyo cuando he requerido de ellos.
- A mi familia en general porque de una u otra manera me han brindado su incondicional apoyo.

MARCIO IVAN CASTILLO PEREZ

- A mis padres **Dilcia Aurora Ponce Díaz y Freddy Fidel Moncada Reyes**, por haberme brindado su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera y durante la culminación de mi monografía.
- A mi hija **Juheydi Belén Moncada Matute** por ser de gran importancia en mi vida.

JUNNIOR ALCIDES MONCADA PONCE

- A mis padres **Francisco Armando Corea López y Rosa Amparo Carazo Izaguirre** por ser las personas más importantes en mi vida, las personas que me han apoyado en momentos que he necesitado de ayuda.

WISTON ARMANDO COREA CARAZO

AGRADECIMIENTOS

- Primeramente le damos gracias a **DIOS** por brindarle las fuerzas necesarias a nuestros padres para apoyarnos continuamente en la elaboración de nuestra monografía y agradecer por la sabiduría que nos brinda día a día.
- Agradecemos a **nuestros padres** porque nos han brindado todo su apoyo a lo largo de nuestras vidas.
- Agradecerle a nuestros tutores **M.Sc. Jorge Luis Rostran** e **Ing. Fermín Omar Díaz** por brindarnos el tiempo necesario para que se llevara a cabo esta investigación.
- Especial agradecimiento al **M.Sc. Luis Emilio Pacheco**, por brindarnos su apoyo en la elaboración de nuestra monografía.

Resumen

El presente estudio se realizó en la finca “Belén”, Dipilto, Nueva Segovia. El objetivo fue evaluar el efecto de la incorporación de abonos orgánicos (compost y lombrihumus) sobre las características químicas y físicas del suelo, en un área experimental de 748m². Para este estudio se utilizó un Diseño de Bloque Completamente Aleatorizado, realizando 3 repeticiones de los dos tratamientos, incorporando 0.454 Kg de abono por m² de suelo. Las parcelas tuvieron un área de 68 m² cada una. Se realizaron muestreos del suelo antes y después de incorporados los abonos, para determinar el contenido de las características químicas del suelo, como; N-P-K, pH, Conductividad eléctrica, materia orgánica y sus características físicas las cuales son: textura, densidad aparente, capacidad de retención y capacidad de infiltración. Mediante un análisis químico realizado en el laboratorio de suelo de la UNAN-León, se determinó las concentraciones de N-P-K. Los resultados inicialmente demuestran en promedio 0.029-0.214-0.184% de N-P-K, incorporado el abono orgánico compost, los niveles de N-P-K aumentaron significativamente promediando 0.042-0.572-0.487%. Las concentraciones de N-P-K en el área donde se incorporó el lombrihumus, promedió inicialmente 0.026-0.154-0.151%, con la incorporación de lombrihumus incremento en promedio 0.084-0.507-0.758% de N-P-K. En el contenido de las demás características químicas mostro un incremento, en pH de 0.44, conductividad eléctrica 2.62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la materia orgánica en 0.88% esto luego de incorporado el abono compost, de igual manera incremento pH en 0.84, y materia orgánica en 1.32%, no obstante la Conductividad eléctrica disminuyo en 2.43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con la incorporación del lombrihumus. Respecto a las características físicas, mostraron un incremento principalmente en Capacidad de retención de 5.5% al incorporar compost y 0.85% incorporando lombrihumus y en densidad aparente de 0.07 g/cm³, sin embargo al incorporar compost disminuyo en 0.18 g/cm³, la capacidad de infiltración disminuyo en 16.46 cm/h y 4.20 cm/h, incorporando compost y lombrihumus sobre el suelo respectivamente. La textura no reflejo cambio luego de incorporar los abonos orgánicos, sin embargo el porcentaje de las partículas de arena, limo y arcilla mostraron un incremento. En conclusión, la incorporación al suelo de abonos orgánicos compost y lombrihumus, es una manera de suministrar nutrientes, por ende mejorar las calidad química y física de los suelo. Es recomendable realizar nuevos estudios sobre el tema en diferentes periodos de tiempo y distintas profundidades de muestra bajo estas condiciones de estudio y con otros tipos de abono orgánicos para comparar resultados.

I. INTRODUCCIÓN

La agroecología propone estrategias capaces de superar las limitaciones estructurales y funcionales inherentes a los sistemas de producción simplificados. Tales estrategias se dirigen hacia la estimulación y optimización de los procesos biológicos del suelo, favoreciendo el reciclaje de nutrientes. En ellas se prioriza la adopción de técnicas multifuncionales que puedan mantener o mejorar la fertilidad del suelo, contrarrestar procesos de erosión, favorecer la presencia de poblaciones de organismos benéficos y controlar el surgimiento de vegetación espontánea. El antecedente más antiguo de la agricultura orgánica son los sistemas de producción tradicionales practicados por nuestros aborígenes, lamentablemente estos sistemas equilibrados con la naturaleza fueron quedando relegados debido a la expansión demográfica y la mecanización (Monge, 1999).

El compostaje ha sido empleado por agricultores hace siglos como un medio de aporte complementario de desechos orgánicos de bajo costo y disponibles en sus predios. El proceso de compostaje se puede definir como una descomposición aeróbica y termofílica de los residuos orgánicos por las poblaciones microbiana quimiorganotróficas que existen en los propios residuos, bajo condiciones controladas y que produce un material parcialmente estabilizado de lenta descomposición, cuando hay condiciones favorables (Burbano H.1989).

Peña et al. (1988) asegura que los residuos orgánicos al ser aplicados al suelo mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas, resolviendo el problema de fertilidad del suelo, además de aumentar la capacidad de resistencia a factores ambientales negativos.

Los productores tradicionalmente hacen uso de sistemas agroquímicos, los cuales son sustancias que se utilizan en la agricultura para el mantenimiento y la conservación de los cultivos, sin embargo el uso excesivo de tales sistemas conlleva a una degradación del suelo, a la contaminación del ambiente, afectando lo social y lo económico.

La necesidad de implementar alguna práctica orgánica en el municipio de Dipilto, nace con el fin de incrementar la fertilidad y mejorar las condiciones agronómicas de los

suelos agrícolas de esta zona, puesto que la productividad de los suelos se ve disminuida a consecuencia del uso intensivo del suelo sin un manejo adecuado del mismo. Pobladores de esta zona y muchos nicaragüenses han sufrido en su producción los efectos negativos que produce un suelo que no es tratado adecuadamente con respecto a su fertilización.

El estudio que llevamos a cabo está dirigido a proporcionar información acerca de los efectos que genera la incorporación de abonos orgánicos sólidos al suelo. Los abonos orgánicos que incorporamos son: compost y lombrihumus, comparando condiciones químicas y físicas, antes y después de su incorporación.

Los abonos orgánicos como el compostaje y el lombrihumus son el conjunto de materiales orgánicos que se incorporan al suelo con diversos propósitos como mejorar sus cualidades físicas de estructura, aireación, absorción y retención de agua, aportar elementos que mejoren la nutrición de la planta y ayuden a minimizar el efecto dañino de las enfermedades y plagas (Burbano H.1989).

La incorporación de los abonos orgánicos en los sustratos de cultivos ha demostrado mejoras significativas en el crecimiento de las plantas, ya que constituye una fuente de liberación lenta de nutrientes que modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Hidalgo y Harkess 2002).

Información específica sobre los beneficios que ocasionan a los suelos los abonos en estudio en la zona de dipilto no se encuentran disponibles, de aquí surge la importancia de generar información que sea de utilidad a fin de mejorar la producción de manera amigable con el ambiente. La agricultura orgánica no implica solo el hecho de fertilizar con abonos orgánicos el suelo, sino conlleva un cambio de conciencia, un camino con muchos pasos, donde el primero está en la mente de cada persona, el querer, creer y cambiar.

II. OBJETIVOS

➤ General

➤ Evaluar el efecto de la incorporación de abonos orgánicos (compost y lombrihumus) sobre las características químicas y físicas del suelo en la finca “Belén” municipio de Dipilto.

➤ Específicos

➤ Determinar características químicas (N-P-K, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica) del suelo antes y después de la incorporación de los abonos.

➤ Determinar características físicas (densidad aparente, textura, capacidad de infiltración, capacidad de retención) del suelo antes y después de la incorporación de los abonos orgánicos.

III. HIPÓTESIS

H₀. Al incorporar abonos orgánicos (compost y lombrihumus) producirá efecto en las propiedades químicas y físicas en el suelo de la finca “Belén” municipio de Dipilto.

H_a Con la incorporación de abonos orgánicos sólidos (compost y lombrihumus) al menos uno de ellos producirá efecto a las propiedades químicas y físicas del suelo de la finca “Belén” municipio de Dipilto.

IV. MARCO TEORICO

4.1. Abono orgánico

Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas (Manejo de...s.f., 2010). El componente orgánico (organismos vivos, mas organismo muertos) da vida al suelo; es el que lo convierte de un suelo inerte a un suelo con características de una entidad viviente (Henis, 1986).

Un abono en general se considera aquel material que se aplica al suelo y estimula el crecimiento de las plantas de manera indirecta, a través de mejorar las propiedades físicas del suelo, un material se considera fertilizante cuando estimula el crecimiento de manera directa a través de aportar nutrimentos indispensables para las plantas. En el contexto anterior, los abonos provenientes de residuos orgánicos, como los estiércoles de diferentes especies de animales, los biosólidos, los residuos de cosecha y las compostas pueden considerarse como abonos y también como fertilizantes orgánicos (Chaney et al., 1992).

Un suelo rico en materia orgánica y organismos vivientes es un buen indicador de la alta fertilidad y disponibilidad de nutrimentos. Los organismos vivientes desempeñan un papel muy importante en el suelo. Ellos descomponen los residuos orgánicos frescos hasta la humificación, liberan agua y elementos minerales durante su descomposición, mineralizan el humus, transforman los elementos esenciales de formas no aprovechables a formas aprovechables por las plantas y otros organismos al intervenir en los procesos de fijación biológica del nitrógeno atmosférico y la oxidación y reducción de los nutrimentos.

Los organismos vivientes utilizan como energía el carbono orgánico fijado que se encuentra en el suelo de tal manera que existe una relación estrecha entre el contenido de materia orgánica (carbón fijado), la población de organismos del suelo y la disponibilidad de nutrimentos o fertilidad del suelo (Henis, 1986). Montero et al. (1978) y Hadas et al. (1983) basan el empleo de los abonos orgánicos en el valor del contenido

de uno de sus elementos químicos principales como fuente de nutrientes, aplicando distintos materiales orgánicos a dosis variables de acuerdo con sus contenidos de nitrógeno. Lee y Bartlett (1976) utilizan el valor del carbono y Kirkham (1982) informan del uso de lodos residuales por sus concentraciones de fósforo.

Por su parte Jeavons (1991), plantea que el abonado orgánico es una de las prácticas más importantes para mantener un suelo productivo y Mayea (1993) afirma que esto es posible porque los ácidos orgánicos de estos abonos trabajan sobre los nutrientes del suelo y lo ponen con mayor facilidad al alcance de las plantas. Álvarez et al. (1995) informan que estos abonos pueden ser transformados por la acción de los microorganismos en Biofertilizantes de alta calidad nutritiva.

4.1.1. Importancia de los abonos orgánicos

La importancia fundamental de su necesidad en las tierras obedece a que los abonos orgánicos son fuente de vida bacteriana del suelo sin la cual no se puede dar la nutrición de las plantas. Para aprovechar la aplicación de los minerales contenidos en los fertilizantes, las plantas requieren que sean asimilables y esto solo es posible con la intervención de los millones de microorganismos contenidos en los abonos orgánicos que transforman los minerales en elementos comestibles para las plantas, de ahí la importancia de utilizarlos conjuntamente.

Dicho de manera concreta, sin abonos orgánicos no hay proceso alimenticio aunque se apliquen fertilizantes y lo que es peor aún, si no son aprovechados los minerales adicionados de los fertilizantes estos se convierten en sales insolubles y lejos de ayudar al desarrollo de las plantas las deprime, abate y mata.

Los abonos de origen orgánico actúan aumentando las condiciones nutritivas de la tierra pero también mejoran su condición física (estructura) y aportan materia orgánica, bacterias beneficiosas, hormonas y por supuesto también fertilizan.

Los abonos actúan más lentamente que los fertilizantes pero su efecto es más duradero y pueden aplicarse más frecuentemente pues no tienen secuelas perjudiciales, por el contrario los abonos también calientan la tierra; en tierras donde no hay presencia

orgánica suficiente, estas son frías y las plantas crecen poco y mal; por el contrario, en tierras porosas por la aplicación constante de abonos orgánicos, se tornan calientes y favorecen el desarrollo de las raíces, principal vía de nutrición de plantas y pastos (Guía de jardín...H. F., 2013).

4.1.2. Tipos de abonos orgánicos.

4.1.2.1. Abonos orgánicos sólidos.

Los abonos orgánicos sólidos, se producen al transformar de forma acelerada todo tipo de residuos orgánicos (vegetales y animales) en estado fresco o semi-descompuesto. Este proceso de fermentación y descomposición, se realiza en un medio húmedo, caliente y aireado, convirtiendo las materiales empleados, en un abono rico en nutrientes y en otras sustancias mejoradoras del suelo, en un periodo de 1 a 3 meses. El tiempo de preparación y utilización, depende de los materiales seleccionados y del tipo de tratamientos que demos a los mismos, recuerde que usted puede innovar en su parcela y cambiar algunos materiales por otros, dependiendo de su disponibilidad (IPADE, 2009).

4.1.2.1.1. Compost.

El compost es una palabra que viene del latín y significa componer (juntar). Una definición aceptada de compostaje es “la descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas” (INTEC, 1999). El proceso de compostaje depende de la descomposición microbiana de compuestos orgánicos bajo condiciones en las cuales se permite el aumento de la temperatura como producto de la oxidación aeróbica de los desechos (Coyne, 2000).

El compostaje es el proceso más eficiente de producción de abono orgánico de calidad, por la controlada de residuos. En contraste y complementación con el abonado verde, su ventaja es la calidad del compost (mantillo o compuesto) rico en humus estabilizado, microorganismos activos y sus metabolitos, que tanto estimulan la salud natural de las plantas, como suprimen varias plagas y enfermedades (Hoitink et al, 1995). Su desventaja es la necesidad de mano de obra o mecanización para producción en mayor escala, así como su transporte y aplicación.

Compostaje es el proceso natural de degradación biológica de materiales orgánicos (los que contienen carbono en su estructura), de origen animal y vegetal, por la acción de microorganismos. Para que el compostaje tenga lugar no es necesario agregar ningún componente físico ni químico a la masa de residuos domiciliarios. El compostaje puede ser aeróbico o anaeróbico, en función de la presencia o ausencia de oxígeno en el proceso.

En el compostaje anaeróbico, la degradación se hace por medio de microorganismos que viven en ambientes sin oxígeno; tiene lugar a baja temperatura, exhala olor fuerte y molesto y tarda más tiempo hasta que la materia orgánica se estabiliza.

En el compostaje aeróbico, el proceso más adecuado para tratar los residuos domiciliarios, la degradación es realizada por microorganismos que solo viven en ambientes que contienen oxígeno. La temperatura puede llegar hasta los 70° C, los olores producidos no son molestos y la degradación es más rápida.

El producto final del proceso de compostaje aeróbico de residuos orgánicos es el compost, un material rico en humus y nutrientes minerales que puede ser usado en la agricultura como mejorador de suelos y tiene algún potencial fertilizante (Leite y Penido, 2006)

4.1.2.1.1.1. El proceso de compostaje

La fabricación de compost es iniciada por organismos quimio heterótrofos mesófilos. A medida que éstos respiran, la temperatura del compost aumenta y éstos van siendo sustituidos por organismos termófilos (Coyne, 2000). Una división del proceso en tres fases fue establecida por Soto (2003). Iniciando con una fase mesofílica de descomposición rápida de los materiales más lábiles, tales como azúcares, proteínas, almidones y hemicelulosas. Luego una segunda fase termofílica, de temperaturas más altas, donde se degradan los materiales más recalcitrantes como celulosa y la lignina, para pasar finalmente la fase de síntesis, enfriado y maduración, donde se forman sustancias húmicas.

4.1.2.1.1.2. Etapas del compostaje

Según un informe emitido por el Programa de apoyo a la formación profesional para la inserción laboral en el Perú (2007), El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro periodos, de acuerdo con la evolución de la temperatura:

- **Mesofila.** La masa vegetal esta a temperatura ambiente y los microorganismos mesofilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.
- **Termófila.** Cuando se alcanza una temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y aparecen las bacterias esporigenas y actinomicetes. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.
- **De enfriamiento.** Cuando la temperatura es menor de 60°C, reaparecen los hongos termófilos que re invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40°C los mesofilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
- **De maduración.** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimeracion.

4.1.2.1.1.3. Condiciones a controlar en el proceso de compostaje.

4.1.2.1.1.3.1. Relación C/N

La relación C/N ha servido tradicionalmente como un indicador de madurez estabilidad, así como de la evolución del proceso de compostaje. Las principales causas de las lesiones y disminuciones de producción observadas en cultivos desarrollados sobre sustratos orgánicos inmaduros son la deficiencia de nitrógeno derivada de la inmovilización del nitrógeno excedente en el sustrato por los microorganismos y la baja disponibilidad de oxígeno para las raíces derivada del consumo de este por los microorganismos. Éstos requieren carbono para su crecimiento y nitrógeno para la síntesis de proteínas. El oxígeno y el nitrógeno disponibles son consumidos por la actividad microbiana. La relación C/N de los compost varía, generalmente de 5 a 30, según las materias primas que se compostan.

Cuando se inicia el compostaje es conveniente que la relación C/N de la matriz a compostar (material único o mezcla de materiales) sea próxima a 30. Relaciones iniciales más bajas (menor de 20) conducen a una pérdida de Nitrógeno en forma de amoníaco y valores más altos alargan el tiempo de compostaje. Para preparar sustratos de materiales orgánicos como cortezas, serrines o paja, con una C/N inicial alta (>100), el Nitrógeno puede ser suministrado en forma de urea (Raviv et al, 1986).

En general se considera válidas relaciones iniciales entre 15 y 50, aunque la relación óptima es en función de la disponibilidad de carbono por los microorganismos y depende del tipo de material. Materiales que tienen Carbono formando parte de compuestos resistentes como las ligninas, permiten relaciones C/N más elevadas.

Un cálculo adecuado de requerimiento óptimo de nitrógeno y relación C/N durante el compostaje de la materia orgánica es difícil de establecer a causa de:

- a) Parte de la matriz compostable está en forma de lignina y otros compuestos resistentes a la descomposición microbiana. Este tipo de componentes se descompone ligeramente después de largos períodos.
- b) Parte del nitrógeno está en forma no disponible durante la mayor parte del proceso de compostaje en forma de proteínas fibrosas insolubles tipo querina.
- c) La cantidad de nitrógeno en el medio puede modificarse por procesos de fijación de N₂, realizados por la bacteria *Azotobacter*, especialmente en medios ricos en fosfatos.

Cuando se mezclan materiales diferentes en el compostaje se debe controlar el equilibrio entre el Carbono y el Nitrógeno de manera que, a un material rico en Carbono como la corteza de pino, se le puede añadir un material rico en Nitrógeno, como son los fangos de depuradora para poder obtener una adecuada relación C/N.

El proceso de compostaje conlleva una disminución en la relación C/N desde el principio y final del proceso según la naturaleza del material a compostar. Las cortezas tiene

inicialmente una relación C/N superior a 100 y al final es de 30 a 40, mientras en el fango de depuradoras la tasa inicial es de 8.7 y al final se llega a un 11.2 (Domínguez, 2010).

4.1.2.1.1.3.2. pH

Los materiales orgánicos frescos suelen tener un pH ligeramente ácido, el cual se acidificará más durante las primeras fases del compostaje por la formación de ácidos orgánicos. A lo largo del proceso de compostaje el pH acostumbra a aumentar.

Valores de pH muy bajos pueden indicar la presencia de procesos anaerobios, mientras que valores muy elevados pueden ser debidos a la formación de Nitrógeno amoniacal y a pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco (gas).

El pH de la corteza (4.5-5.2) es inferior al intervalo óptimo (6.5-8.5) para el proceso de compostaje. La adición de nitrógeno amoniacal y/o estiércol de aves eleva el pH y generalmente se obtienen tasas de descomposición más altas que las obtenidas cuando se utiliza el nitrato amónico como única fuente de nitrógeno. La urea, el estiércol y otros residuos con elevado contenido de nitrógeno (como fangos de depuradora) son la fuente de nitrógeno preferible. De todas formas el pH del compost ha de permanecer por debajo de 7.4 en sistemas de compostaje de aireación forzada para que no se produzcan pérdidas excesivas de amoníaco. Para evitar este problema se han de utilizar mezclas de urea y nitrato amónico ó urea y otras fuentes de nitrógeno orgánico. La respuesta de las plantas en compost producidos con estiércol de aves, frecuentemente, es mejor que en compost producidos con fuentes de nitrógeno sintético. También se ha utilizado con éxito estiércol de cerdo (Domínguez, 2010).

4.1.2.1.1.3.3. Humedad

Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso. Algunos autores (Haug, 1993; Madejón y col, 2002; Jeris y col, 1973) consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante

en el compostaje y ha sido calificada como un importante criterio para la optimación del compostaje

El contenido óptimo de humedad de los materiales para el compostaje es 50-60%. Cuando el contenido de humedad está por debajo del 30% en peso, las reacciones biológicas en una pila de compost se retardan considerablemente y la elevación de temperatura se limita; por debajo del 12% cesa prácticamente toda actividad biológica, siendo el proceso extremadamente lento. En contraste una humedad superior al 60% causa la saturación de la materia orgánica, todos los espacios vacíos son ocupados por el agua, desencadenado olores desagradables, descenso de la temperatura, lavado de nutrientes y prevalecen condiciones anaeróbicas. (Castro 1995)

En los procesos aeróbicos el contenido de humedad está estrechamente relacionado con los requerimientos de oxígeno. Si el contenido de humedad es demasiado alto los espacios entre las partículas del material se saturan de agua, impidiendo el movimiento de aire dentro de la pila.

4.1.2.1.1.3.4. Aireación

Para el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinci y col, 2004).

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidlingmaier, 1996). El exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006).

La aireación es una variable de operación muy importante y la que más incide en los costes de operación, ya que suponen el 32-46% de los costes totales. La medida de la concentración de oxígeno requiere equipos costosos, pero puede también realizarse de una manera indirecta mediante las medidas de temperatura y humedad (Kulcu y col, 2004).

Durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos (Tomati y col., 2000).

Según Dalzell et al (1991), se debe asegurar un contenido de humedad adecuado en todo momento mojando las mezclas al inicio y cuando sea conveniente durante el proceso, protegiendo la pila de la luz solar directa, cubriéndola con plástico negro para evitar que los rayos solares afecten a los microorganismos y para evitar la deshidratación de la pila o la sobre hidratación por agua de lluvia.

4.1.2.1.1.4. Características del compost.

Presencia de humus y nutrientes minerales, y la calidad del compost depende de la menor o mayor cantidad de estos elementos. El humus da la porosidad al suelo, lo que permite la aireación de las raíces y la retención de agua y nutrientes. Los nutrientes minerales pueden llegar al 6% del peso del compost e incluyen el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y hierro, que son absorbidos por las raíces de las plantas, el compost puede ser usado en todo tipo de cultivo, asociado o no a fertilizantes químicos. Puede ser usado para corregir la acidez del suelo y recuperar áreas erosionadas (EMISON, 2009).

4.1.2.1.1.4.1. Propiedades químicas (EMISON, 2009)

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre. Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno.
- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón.
- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.

- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.

4.1.2.1.1.4.2. Propiedades físicas(EMISON, 2009)

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los sueltos y arenosos.
- Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del suelo.
- Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica.

4.1.2.1.1.4.3. Propiedades biológicas (EMISON, 2009)

- La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo.
- El compost es fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana.
- Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana.
- El compost puede ayudar a controlar las enfermedades de las plantas y reducir la pérdida en las cosechas. El control de enfermedades a través del compost, ha sido atribuido a cuatro mecanismos posibles:
 - Exitosa competencia por nutrientes por microorganismos benéficos.
 - Producción de antibióticos por los mismos microorganismos.
 - Depredación exitosa contra los patógenos.
 - Activación de genes resistentes a las enfermedades.

4.1.2.1.1.5. Microorganismos en el proceso de compostaje.

Rynk, citado por Uribe Lorío (2003) dice que los grupos más importantes de microorganismos presentes en los abonos orgánicos son las bacterias, hongos y actinomicetos. Y los grupos comprenden tanto especies mesófila como termófila.

Paul y Clark, mencionados por Soto (2003) establecieron que las bacterias y hongos se encargan de la fase mesófila, especialmente bacterias del género *Bacillus* sp, aunque existen también algunos *Bacillus* termófilos. Además, indican que el 10% de la descomposición es realizada por bacterias, del 15-30% es realizada por actinomicetes.

Después de que los materiales lábiles han desaparecido, los predominantes son los actinomicetes, hongos y levaduras.

4.1.2.1.2. Lombrihumus.

Es el producto de la degradación de la materia orgánica por medio de lombrices; en especial por *Eisenia andreei*, *Eisenia foétida*, *Perionyx excavatus*, *Eudrillus ssp.*; para la obtención de humus orgánico y te de lombriz (UNIVO s.f., 2013). El humus de lombriz es un abono orgánico que contiene nutrientes disponibles para la planta y es beneficioso para la flora y fauna microbiana del suelo (INIA, 2008).

El lombrihumus, humificación aeróbica es el resultado de la digestión del alimento proporcionado a la lombriz (Miller y Donahue, 1995) que agregado al suelo ayuda a la nutrición vegetal y mejora las características físicas y químicas del mismo (Brandy y Well, 1999). Se calcula que el lombrihumus tiene una flora bacteriana de 20,000 millones de bacterias por gramo seco y un alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, que combinados hacen más asimilables los nutrientes (Aguilera, 2009).

Cría de lombrices de tierra en condiciones de cautiverio y alimentadas con desechos orgánicos biodegradables para reciclar materia orgánica y obtener proteínas en forma de biomasa de lombrices de tierra y el lombrihumus (García, 2005).

Payán 2010 manifiesta que “La acción de las lombrices es transformar el N contenido en los materiales orgánicos, en formas aprovechables para la actividad microbiana. Y los productos nitrogenados provienen de las excreciones de orina eliminada a través de los nefridiósporos en forma de ácido úrico y amonio, mucoproteínas secretados por el cuerpo al paso de las excavaciones del suelo y de tejidos de lombrices muertas con un contenido aproximado de 12% de N.

El lombrihumus mejora las propiedades físicas de los suelos, dando soltura a suelos pesados y compactos y adhiriendo suelos sueltos y arenosos. Por consiguiente mejora la porosidad, permeabilidad y aireación e incrementa la capacidad de retención de nutrientes.

En la parte química, mejora la capacidad de intercambio catiónico incrementando la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre; fundamentalmente del nitrógeno a través del lento progreso de mineralización. Además tiene óptimas cantidades de calcio, potasio y otros minerales. Inactiva los residuos de plaguicidas, debido a su capacidad de absorción.

En la parte biológica, la materia orgánica es el sustrato y la fuente de energía para la actividad microbiana, ya que posee las condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros que incrementan y diversifican la flora microbiana (Edwards et al. 2004).

4.1.2.1.2.1. Ventajas del lombrihumus se encuentran (González, 2013):

- Es un abono orgánico que no daña el ecosistema y reduce el uso indiscriminado de fertilizantes químicos.
- Aporta nutrientes minerales para las plantas (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, entre otros).
- Las plantas se desarrollan más robustas y resistentes a las plagas y enfermedades y cambios bruscos de las condiciones ambientales.
- Recupera la fertilidad de los suelos pobres degradados o erosionados.
- Mejora la textura y estructura del suelo, mantiene la humedad por mayor tiempo e incrementa la aireación del suelo.
- Activa los procesos biológicos del suelo.
- Obtención de lixiviados.

Una de las experiencias sobre “Conservación in situ de los cultivos nativos y sus parientes silvestres en las comunidades de Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Ica, Junín, Lima y Puno donde se utilizó el humus de lombriz, los testimonios de los agricultores señalan que sus cultivos nativos mostraron mayor vigor, los suelos de sus chacras retuvieron mayor cantidad de humedad que de costumbre y fue muy apropiado para los almácigos de hortalizas y árboles frutales. Respecto a lo anterior el humus de lombriz es una alternativa ya que proporciona nutrientes a las plantas y mejora las condiciones físicas y químicas del suelo (INIA, 2008).

4.1.2.1.2.2. Características del humus.

Chavarría Et. Al. (2001), afirma que; la lombriz es conocida desde tiempos remotos como el animal ecológico por excelencia. El humus de lombriz o lombricompuesto, el cual es el producto final de su digestión y constituye un excelente regenerador orgánico del suelo. Es un mejorador de las características físico-químicas y biológicas del suelo.

El humus de lombriz está compuesto principalmente por el carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrogeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos (Ulloa, 2012).

4.1.2.1.2.3. Composición microbiológica de lombrihumus

La característica más importante es su alta carga microbiana, la cual la ubica como un excelente material regenerador de suelos: esto ha sido demostrado con aplicaciones a suelos erosionados y con bajos contenidos de materia orgánica, consecuencia de la aplicación de agroquímicos, observándose en ellos una extraordinaria proliferación de la flora bacteriana (Martínez, 1996).

4.1.2.1.2.4. Composición química de lombrihumus

Bollo, 2005, indica que el lombrihumus contiene 5 veces más nitrógeno; 7 veces más fosforo; 5 veces más potasio y 2 veces más calcio que el material orgánico que ingirieron, lo cual incide en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La **Tabla 1** demuestra las características químicas que presenta el abono orgánico solido lombrihumus.

Tabla 1 Composición química de lombrihumus.

Contenido	Composición	Contenido	Composición
Humedad	30-60%	pH	6.8-7.2
Nitrógeno	1.0-2.6%	Fosforo	2.08-8.0%
Potasio	1.0-2.5%	Calcio	2.0-8.0
Magnesio	1.0-2.5%	Materia orgánica	30.0-70.0%
Carbono orgánico	14-30%	Acido fulvicos	2.8-5.8%
Acido húmico-fulvico	1.5-3%	sodio	0.02%
Cobre	0.05%	Hierro	0.02%
Manganeso	0.006%	Relación C/N	10.0-11.0%

Fuente: lombriz@lycos.com

4.1.2.1.2.5. Especies apropiadas para la producción de abono.

➤ **Eisenia andreii** (Lombriz Roja común)

La lombriz roja común, tiene la forma de color rojo uniforme. Aparte de las diferencias en la pigmentación, ambas especies son morfológicamente similares (Sims & Gerard 1985, Reinecke & Viljoen 1991) y sus parámetros biológicos, sobre todo de potencial reproductivo y sus ciclos de vida no se diferencian significativamente, aunque la tasa de crecimiento y producción de capullos es algo más alta en *E. andreii* que en *E. foétida* (Elvira et al. 1996).

➤ **Perionyx excavatus** (Lombriz Oriental de las compostas)

Carece de la luz alternativa y las bandas oscuras de la *E. foétida*. Clitelo cubre los segmentos 13-17, mientras que el clitelo de la *Eisenia foétida* cubre los segmentos de 25-30. En términos más simples, significa que el "cuello" de la madurez, está mucho más cerca de la cabeza de la *E. foétida*.

➤ **Eudrillus ssp.** (Lombriz roja africana)

Es de color rojo oscuro. Su clitelio se encuentra más adelantado y su cola es redonda y de color blanquecino. Mide aproximadamente de 15 a 20 cm. No es muy resistente a condiciones adversas, y cuando no se encuentra en su medio o hábitat adecuado, emigra o muere. Sin embargo, en condiciones óptimas se reproduce más rápido que la lombriz californiana y genera más abono (Albatros, 2004)

➤ **Roja californiana** (Especie utilizada)

La lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) es la lombriz más conocida y empleada en más del 80% de los criaderos del mundo. Se la conoce como "lombriz roja californiana" porque durante la década de 1950 en el estado de California (EE.UU.) se descubrieron sus propiedades para el ecosistema y se instalaron los primeros criaderos (Albatros, 2004).

La roja californiana es la más adecuada para cultivar, pues es muy voraz aceptando todo tipo de desechos orgánicos como alimento, no huye del alojamiento, vive hasta los dieciséis años de edad y obtiene un alto índice de reproducción.

La lombriz roja es el resultado de un proceso de selección dirigido a obtener una vida útil prolongada, ciclos reproductivos frecuentes, incremento del número de lombrices por capullo. Se aparea en cortos periodos, produce 1200 a 1500 crías en un año y conviven sin problema con colonias de 40.000 a 50.000 individuos por metro cuadrado.

4.1.2.1.3. Bokashi.

El Bokashi es de origen japonés y su nombre es un término que significa abono orgánico fermentado, que se logra siguiendo un proceso de fermentación acelerada, con la ayuda de microorganismos benéficos, que pueden tomar la materia orgánica del suelo y hacerla entrar en el mundo vivo, gracias a la energía química de la tierra (SHINTANI M., 2000).

SUQUILANDIA M, (2003) dice que, el Bokashi es un abono orgánico que resulta de la fermentación (Anaeróbica y aeróbica) de desechos de carácter vegetal y animal al que se le pueden agregar elementos de origen animal para enriquecerlo (cal, roca fosfórica) y microorganismos para activar el proceso fermentativo.

4.1.2.2. Abonos orgánicos líquidos

Los biofermentos o abonos líquidos son producto de un proceso de fermentación de materiales orgánicos (estiércol, leche, suero, frutas, plantas, malezas).

En donde por la actividad de microorganismos los materiales utilizados son transformados en minerales, aminoácidos, ácidos orgánicos que además de nutrir a las plantas, ayudan a restaurar la vida del suelo, al dar como resultado un fertilizante foliar que contiene principios hormonales vegetales.

Los abonos líquidos pueden ser utilizados en una gran variedad de plantas, sean de ciclo corto, anuales, bianuales o perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales, a través de aplicaciones dirigidas al follaje, al suelo, a la semilla y a la raíz (IPADE, 2009).

➤ Te de estiércol.

Es una preparación que convierte el estiércol en un abono líquido. En el proceso de hacerse te, el estiércol suelta sus nutrientes al agua y así se hacen disponibles para las plantas.

➤ **Guarapo de estiércol.**

Se obtiene de la fermentación aeróbica (en presencia de oxígeno) de estiércol de bovinos.

➤ **Mantillo del bosque**

Este abono ayuda a mejorar el desarrollo del sistema radicular en las plantas, contribuyendo a incrementar la capacidad de absorción de nutrientes.

➤ **Lactobacillus**

Los Lactobacillus son bacterias que ayudan a descomponer la materia orgánica en el suelo. Esto les permite a las plantas absorber los nutrimentos, como el calcio, fósforo y el potasio, que se encuentra en esa materia, a eliminar los malos olores de materiales en descomposición y se usan para prevenir enfermedades causadas por hongos.

Este preparado puede ser utilizado en la elaboración de aboneras para disminuir el tiempo de descomposición de los materiales utilizados (IPADE, 2009).

➤ **Abono líquido a base de frutas.**

Es un compuesto básicamente rico en fósforo y potasio que se encuentra en las frutas maduras.

➤ **Abono foliar de madero negro.**

El madero negro es un fertilizante foliar orgánico; ayuda al follaje y los frutos en cultivos perennes como café, cacao, cítricos etc., así como a cultivos de frijol, los y las hortalizas. Actúa también como repelente de las plagas.

➤ **Caldo de lombricompost.**

Es un Biofertilizantes con alto contenido de nutrientes y de sustancias que mejoran el suelo y que le dan bienestar a la planta. Se utiliza el humus de lombriz para su preparación y se aplica al suelo o la parte foliar de las plantas (IPADE, 2009).

4.1.3. Ventajas del uso de abono orgánico

4.1.3.1. Efecto Químico sobre el suelo.

➤ **Incrementa la capacidad de intercambio catiónico (Soto y Muñoz, 2002).**

- Incrementa la disponibilidad de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (Ochoa et al., 2000; Hidalgo y Harkess, 2002)
- Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrogenada.
- Inactiva los residuos de plaguicidas, debido a su capacidad de absorción.
- Reducen las oscilaciones de pH (PROMERINOR, 2009).
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plagas.

4.1.3.2. Efecto físico sobre el suelo

- Mejora la estructura, considerada el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos (Castellanos, 2000).
- Mejora la permeabilidad y aireación.
- Incrementa la capacidad retentiva y aireación.
- Confiere un color oscuro al suelo, ayudando a retener la energía calorífica.
- Disminuyen la erosión del suelo (PROMERINOR, 2009).
- Aumenta la retención de agua en el suelo (PROMERINOR, 2009).

4.1.3.3. Efecto biológico sobre el suelo

- Incrementa las poblaciones de los microorganismos presentes en el suelo (Reyes et al., 2000; Martínez, 2002; Heredia et al., 2000; Arteaga et al., 1999).
- Reduce algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos (Zavaleta 2002).

Debido a sus características físicas, químicas y biológicas, permite recuperar suelos agotados, áreas verdes en las ciudades, suelos demasiado arenosos y de bosques degradados.

Con el uso de humus se obtiene una producción frutícola, hortícola y florícola de alta calidad contribuyendo al logro de productos denominados orgánicos. El humus estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas y las torna más resistentes a plagas y enfermedades.

Los productores agrícolas con certificación orgánica tienen un valor agregado mayor en 50% (generalmente) que los provenientes de la agricultura convencional intensiva.

4.1.4. Desventajas del uso de abono orgánico

Según la revista Ra Ximhai (2008), existen algunas situaciones que pudieran ser interpretadas como desventajas pero que a largo plazo pueden ser superadas. Dichas situaciones son:

- Proceso lento de absorción de nutrientes, se recomienda un sistema combinado (convencional y orgánico) en el afán de hacer un cambio gradual, y ayudarle al suelo a restablecer el equilibrio natural.
- Resultados esperados son a largo plazo, debido a que el cambio debe de ser gradual, ya que poco a poco el suelo restituirá los procesos de formación y degradación de la materia orgánica hasta llegar a un nivel donde solo requerirá una mínima cantidad de nutrientes para mantener dicha actividad, sin embargo este proceso mejorara la fertilidad del suelo. El periodo de transición para que un suelo sea orgánica oscila entre los 3 a 5 años, dependiendo del manejo previo del suelo y de los factores medio ambientales, puede extenderse hasta los 8 años.
- Los costos en el manejo de suelo aumentan al ser tratados de manera orgánica, sin embargo las plantas y los frutos obtenidos son de mejor calidad respecto a los tratados convencionalmente. Además de no contaminar las fuentes hídricas y el medio ambiente.

4.2. El suelo.

El suelo puede definirse, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), como el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando durante un determinado periodo.

Es considerado también como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él, que influye en el clima y en el ciclo hidrológico del planeta, y que sirve como medio de crecimiento para diversos organismos. Además, el suelo juega un papel ambiental de suma importancia, ya que puede considerarse como un reactor bio-físico-químico en donde se descompone material de desecho que es reciclado dentro de él (Hillel, 1998).

4.2.1. Características químicas.

4.2.1.1. pH

Las letras pH son una abreviación de “pondus hydrogenii”, traducido como potencial de hidrogeno, y fueron propuestas por Sorensen en 1909, que las introdujo para referirse a concentraciones muy pequeñas de iones hidrogeno. Sorensen, creador del concepto de pH, lo define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrogeno en una solución.

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos) y plantas. La lectura de pH se refiere a las concentraciones de iones de Hidrogeno activos (H^+) que se da en la interface liquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos (Luis, y otros, 2006).

El pH controla muchas de las actividades químicas y biológicas que ocurren en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas. Según el pH del suelo la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos puede favorecerse, así por ejemplo, en los suelos de pH ácido se tratara de subir el pH por la adición de cal u otra enmienda alcalinizante para mejorar disponibilidad de los elementos nutritivos que se fijan a un pH ácido como ocurre por ejemplo con el fósforo. El pH del suelo representa aspectos del clima, vegetación e hidrología del lugar donde el suelo se ha formado (Santibañez, 2005).

A la mayoría de especies cultivadas, les favorece pH entre valores de 5.5 a 7.5, pero cada especie y variedad tiene un rango específico donde se desarrolla mejor. Normalmente entre pH 6.5 y 7.0 es el rango que se maneja especialmente para cultivos bajo técnicas de fertirrigación (Sánchez, 2007).

4.2.1.2. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo; y sustancias producidas y vertidas por esos organismos. Se pueden incluir compuestos orgánicos tóxicos provenientes de las actividades industriales del hombre, como la contaminación del suelo por hidrocarburos del petróleo, que también constituye parte de la materia orgánica del suelo (Etchevers, 1988).

En una unidad de masa de suelo, la materia orgánica es la fracción de mayor actividad química dentro de tal matriz, ya que almacena varios elementos vitales en el suelo; a la vez que estimula el desarrollo de su estructura, es el principal foco para el intercambio de pH, regula las relaciones entre el sistema suelo-planta-agua-aire, es un gran depósito geoquímico de minerales y es uno de los sustratos primordiales para la actividad microbiana (Batjes & Dijkshoon, 1999; Bohn, Meneal & O`connor, 1993).

La materia orgánica tiene además gran importancia como compuesto mejorador de las propiedades físicas (agente buffer), y como participe en la Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) del suelo. Resultados obtenidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), a través de investigaciones sobre suelos y fertilización en algunos cultivos, han permitido calibrar el contenido de materia orgánica como índice de disponibilidad de Nitrógeno en suelos para algunas especies de plantas.

La materia orgánica es determinada mediante el método de Walkley-Black, consiste en determinar estimados de materia orgánica del suelo, la cual no es considerada directa ya que el principio de la metodología es la oxidación del carbono orgánico del suelo (Walkley & Black, 1934).

El contenido de carbono orgánico en el suelo puede expresarse directamente en valor porcentual o ser estimado en forma de materia orgánica. En este caso el contenido de carbono orgánico se multiplica por 1.724 (factor de Van Bemmelen) y se basa en la hipótesis de que la materia orgánica del suelo tiene 58% de carbono orgánico (Castillo & Gonzales, 1989).

4.2.1.3. Capacidad de intercambio cationico

La capacidad de intercambio cationico es la capacidad del suelo para retener e intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica y podrá decirse que es la base de lo que llamamos fertilidad del suelo.

La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. En general entre mas arcilla y materia orgánica en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor. El contenido de arcilla es importante debido a que estas pequeñas partículas tienen una relación alta de área superficial o volumen (Luis, y otros, 2006).

4.2.1.4. Nutrientes

4.2.1.4.1. Nitrógeno

El nitrógeno interviene en muchos procesos vitales para la planta, por lo que las deficiencias de este elemento afectan su crecimiento. Cuando no hay nitrógeno suficiente, las plantas tienen poco desarrollo y hay una vegetación raquítica. Si la deficiencia es grave, los bordes de las hojas adquieren un color anaranjado o violáceo, la maduración se produce antes de tiempo y los frutos son pequeños y de poca calidad, lo que se traduce en un rendimiento escaso. (MAPA, 1999).

El exceso de nitrógeno produce un aspecto contrario al originado por la deficiencia, esto es:

- Las plantas adquieren un gran desarrollo.
- Las hojas son de color verde oscuro.
- La maduración se retrasa.
- La calidad de los frutos desciende notablemente.
- Las plantas se vuelven menos resistentes a las heladas, la sequía y las enfermedades.

4.2.1.4.1.1. El nitrógeno en el suelo

El nitrógeno del suelo se encuentra bajo las formas de nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico. El nitrógeno orgánico forma parte de la materia orgánica procedente de los restos de vegetales y animales. Este nitrógeno que representa una gran parte del nitrógeno no contenido en el suelo, no puede ser aprovechado por las plantas mientras no se transforme en nitrógeno inorgánico acción que lleva a cabo los microorganismos del suelo.

El balance de nitrógeno en el suelo bajo formas asimilables es el resultado de un continuo movimiento donde se producen entradas y salidas de nitrógeno en el suelo. (MAPA, 1999).

Las entradas o ganancias se producen por los siguientes procesos:

1. Fijación de nitrógeno atmosférico, todo nitrógeno contenido en el suelo procede de la atmosfera, ya que no existe roca nitrogenada, pero el nitrógeno atmosférico no puede ser utilizado directamente por los seres vivos, salvo en el caso de algunos

microorganismos. Para que el nitrógeno atmosférico sea absorbido por las plantas y la mayoría microorganismos tiene que pasar a formar parte de otros compuestos químicos este proceso se llama fijación.

El nitrógeno atmosférico se fija por tres procedimientos:

a) Fijación atmosférica, por causa de las descargas eléctricas y algún otro fenómeno físico que produce mucha energía, el nitrógeno atmosférico pasa a formar parte de diversos compuestos químicos que se mantienen en el aire y posteriormente caen al suelo con la lluvia.

b) Fijación industrial, la industria fabrica amoníaco a partir del nitrógeno del aire y del hidrógeno. Las fuentes de hidrógeno son: carbón, gas natural y los productos petrolíferos. El proceso requiere un gasto muy grande de energía puesto que se necesita operar a unas presiones elevadísimas.

c) Fijación biológica, solamente algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. Ninguna planta es capaz de hacerlo, aunque algunas se pueden aprovechar directamente de la fijación efectuada por los microorganismos. La fijación biológica representa la mayor parte de nitrógeno fijado en la naturaleza. (MAPA, 1999).

2. Mineralización de la materia orgánica, esta fase es muy lenta, y en ella el humus estable recibe la acción de otros microorganismos que lo destruyen progresivamente (1 al 2% al año), liberando así los minerales que luego absorberán las plantas. Esta fase presenta dos etapas:

a) La amonificación (paso del N orgánico a amonio)

b) Nitrificación es el paso del amonio a nitrato (Gros y Domínguez, 1992).

Las salidas o pérdidas se originan por los siguientes procesos:

1. Inmovilización por los seres vivos.

El nitrógeno tomado por los microorganismos y las plantas se convierte en nitrógeno orgánico proceso llamado inmovilización del nitrógeno (el inmovilizado pasa al suelo nuevamente con los residuos orgánicos). (Freal, 2007).

2. Retención en el interior del entramado de algunas arcillas.

El ion amonio puede ser adsorbido por el complejo de cambio. Pero en algunos casos pasa al entramado interno de las arcillas, en donde es retenido durante mucho tiempo. Este proceso se llama fijación. Cuando el ion amonio es liberado, pasa de nuevo a disposición de las plantas. (Freal, 2007)

3. Denitrificación

Bajo ciertas condiciones, alguno microorganismo descomponen el nitrógeno nítrico en compuestos gaseosos, que se pierden en la atmósfera (se da en suelos arcillosos y excesivamente húmedos, con mala aireación). (Freal, 2007)

4. Volatilización.

Una parte del nitrógeno amoniacal formado en el proceso de amonización o incorporado en los abonos amoniacales (o en abonos cuyo nitrógeno puede convertirse en forma amoniacal) puede perderse en forma de amoníaco que pasa a la atmósfera (se produce en suelos arenosos, con poca capacidad de adsorción del ion amonio, y en suelos calizos). (Freal, 2007)

5. Lavado.

El nitrógeno nítrico es muy soluble en el agua y no es adsorbido por el complejo de cambio. Por ambos motivos puede ser arrastrado con facilidad por el agua de percolación. Estas pérdidas pueden ser importantes en inviernos muy lluviosos, ya que en esta época la actividad de las plantas es muy escasa y no pueden aprovechar todo el nitrógeno nítrico contenido en el suelo. También se producen pérdidas importantes cuando llueve mucho después de un abonado de cobertura. (Freal, 2007).

4.2.1.4.2. El fosforo

El fosforo interviene activamente en los procesos del crecimiento de la planta. La deficiencia de este elemento origina:

- Un desarrollo débil con hojas de menor tamaño.
- Coloración de tonalidad azul verdosa oscura, con tintes bronceados o purpuras.
- Las hojas más viejas son las que presentan mayores síntomas de deficiencias.
- La madurez del fruto se retrasa, sobre todo en la cosecha en donde se recolecta la semilla. (MAPA, 1999).

4.2.1.4.2.1. El fósforo en el suelo

En el suelo hay fósforo orgánico y fósforo inorgánico. El fósforo orgánico está contenido en la materia orgánica procedente de los restos de vegetales y animales. El fósforo inorgánico está contenido en ciertos minerales del suelo, que al descomponerse proporciona el fósforo asimilable para las plantas.

En el suelo hay suficiente cantidad de fósforo para satisfacer las necesidades de los cultivos durante muchos años, sin necesidad de hacer aportaciones. Pero únicamente puede ser asimilado por las plantas el fósforo soluble contenido en la solución del suelo, y este presenta una parte muy pequeña del total.

La solubilidad del fósforo depende de la presencia de otros iones (calcio, hierro y aluminio) y del pH del suelo. El pH comprendido entre 6 y 7,5 favorece la solubilidad del fósforo. Con pH inferior a 6 o superior a 7,5 se forman con facilidad compuestos insolubles (MAPA, 1999).

4.2.1.4.3. El potasio

Las funciones del potasio en las plantas son muy variadas. Favorece la formación de hidratos de carbono y su acumulación en los órganos de reserva por este motivo las plantas que acumulan grandes reservas de hidratos de carbono responden muy bien a las aportaciones de potasio. Este elemento favorece a la resistencia de las plantas a la sequía, el frío y los parásitos. (MAPA, 1999).

La deficiencia de potasio ocasiona:

- Una reducción de cosecha, sobre todo en aquellos cultivos en donde se recolectan sus órganos de reservas (frutos, semillas y tubérculos).
- Cuando la deficiencia es grande aparecen manchas en las hojas, en donde desaparece el color verde, con quemaduras en las puntas y en los bordes.

Cuando hay un exceso de potasio asimilable en el suelo:

- Las plantas absorben mayor cantidad de la necesaria sin que aumente la producción (lo que se llama consumo de lujo).

- Por otra parte el exceso de potasio origina deficiencias de absorción de otros elementos como el magnesio.

4.2.1.4.3.1. El potasio en el suelo

En el suelo hay potasio orgánico e inorgánico. El potasio orgánico procede de los restos vegetales y animales. El potasio inorgánico está contenido en ciertos minerales, que al descomponerse proporcionan potasio asimilable para las plantas (MAPA, 2009).

En la mayoría de los suelos existe suficiente cantidad de potasio, sobre todo en los suelos arcillosos, pero para que pueda ser asimilado por las plantas tiene que estar solubilizado en el agua del suelo. Las plantas lo absorben bajo las formas de ion potasio (K^+).

Desde el punto de vista de su aprovechamiento por las plantas, el potasio del suelo puede clasificarse de la forma siguiente:

- Potasio no asimilable, la mayor parte del potasio contenido en el suelo no está disponible para las plantas ya que se encuentra formando parte de las estructuras de ciertos minerales, con el paso del tiempo estos minerales se descomponen y se hacen solubles en la solución del suelo.
- Potasio asimilable con rapidez, se asimila con rapidez el potasio contenido en la solución del suelo y el potasio absorbido en el complejo de cambio del suelo.

La concentración de iones potasios en la solución del suelo permanece constante, de tal suerte que cuando la planta toma iones de la solución disminuye su concentración, y el complejo de cambio libera cierta cantidad de iones, que pasan a la solución con el fin de mantener el equilibrio. En el caso opuesto, cuando incorporamos al suelo un abono potásico se incrementa el contenido de iones de la solución, para que se mantenga el equilibrio es preciso que el exceso de iones de la solución sea absorbido por el complejo (MAPA, 2009).

➤ Potasio asimilable lentamente, en algunas circunstancias los iones de potasio contenido en la solución del suelo quedan atrapados entre las capas de algunas arcillas cristalinas (proceso de fijación). Sin embargo este potasio retenido entre las capas de las arcillas no se pierde definitivamente para las plantas, sino que al cabo del tiempo bajo determinadas condiciones queda liberados (proceso de regeneración) pasando de nuevo a la solución del suelo.

Los procesos de fijación y regeneración tienen una gran importancia en la práctica agrícola. Una parte del potasio soluble añadido con los fertilizantes químicos es absorbido por las plantas desde la solución del suelo, otra parte mayor es absorbida por el complejo de cambio¹, y el resto pasa a situación de no disponible temporalmente, ya que es retenido entre las capas de arcillas. (MAPA, 2009).

4.2.2. Características físicas.

4.2.2.1. Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

En la capacidad de infiltración influye la entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, característica del medio permeable, características del fluido.

4.2.2.2. Densidad Aparente

La densidad aparente conocida también como densidad de volumen (densidad bulk), se refiere a la relación entre el peso y la unidad de volumen de una masa de suelo,

¹engloba al conjunto de partículas con capacidad para adsorber moléculas polares e iones, absorción que está en equilibrio con las concentraciones relativas en la solución del suelo.

incluyendo su espacio poroso. Por esta razón la densidad aparente es útil para el cálculo de la porosidad total del suelo y para convertir porcentaje de agua en peso a porcentaje en volumen. La densidad aparente está íntimamente relacionada con otras propiedades físicas como textura, estructura, retención y movimiento de agua y color específico. Un valor alto en la densidad aparente es índice del grado de compactación del suelo, y por tanto de la dificultad para la penetración y desarrollo del sistema radicular (Amezquita & Navas, 1989).

En un tipo de suelo los valores bajos de densidad aparente, implican suelos porosos, bien aireados con buen drenaje y buena penetración de raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de los árboles (Donoso, 1992).

Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene mala aireación, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamiento, y que las raíces tienen dificultades para elongarse y penetrar hasta donde encuentran aguas y nutrientes. En estas condiciones el desarrollo y crecimiento de los árboles es impedido o retardado consistentemente (Donoso, 1992).

La densidad aparente puede ser incluida dentro de un grupo reducido de parámetros cuya medida es necesaria para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo (Doran y Parkin, 1994).

4.2.2.3. Compactación.

Se define como el aumento de densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración.

Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de rodados e implementos agrícolas, el pisoteo animal y el reacomodamiento de las partículas de suelo en planteos de trabajo sin laboreo.

La compactación, además de limitar el desarrollo y crecimiento de las raíces, provoca en aquellas que logran penetrar, deformaciones, estrangulaciones y otras anomalías morfológicas que alteran el sistema de conducción hacia la parte aérea.

La compactación provoca una reducción del tamaño de los poros y ocasiona una gran disminución del volumen de agua que pasa a través de ellos. En resumen los suelos compactados son menos productivos. Sin embargo, la relación entre la compactación del suelo y los rendimientos no siempre es directa, debido a que interactúan una serie de factores, como el tipo de suelo, agua, aire y nutrientes en forma conjunta en los diferentes estadios de crecimiento de la planta (Richmond & Rillo, 2006).

4.2.2.4. Pendiente

La pendiente caracteriza la desviación de la inclinación de la ladera de la horizontal en porcentaje (%) o en grados (°). Para convertir un porcentaje determinado a grados.

La pendiente influye en la efectividad de las prácticas de conservación de suelos y aguas y la construcción misma de las prácticas (PASOLAC, 2006).

4.2.2.5. Textura

El término textura, se refiere la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro. A las partículas mayores de 2 mm de diámetro se les denomina “modificadores texturales”, dentro de este concepto también se incluyen los carbonatos, la materia orgánica, las sales en exceso, etc. (Sánchez, Javier. 2007).

La determinación de la textura consiste simplemente en indicar para un suelo dado la proporción que ocupa en el cada elemento constituyente (Navarro García, 2013).

$$\%arena + \%limo + \%arcilla=100\%$$

Según (Gabriels, D. & Deyanira Lobo. 2006) La textura es una de las propiedades más permanentes del suelo; no obstante puede sufrir cambios por laboreo (mezcla de horizontes), erosión eólica (suelos más gruesos por pérdida de material), erosión hídrica (deposición de materiales más finos), etc. Es el elemento que mejor caracteriza al suelo desde el punto de vista físico. La permeabilidad, la consistencia, la capacidad de intercambio de iones, de retención hídrica, distribución de poros, infiltración y estructura, son algunas de las características del suelo que en gran medida dependen de ella.

La utilidad de conocer la textura de un suelo consiste en que permite hacer una deducción aproximada de las propiedades del suelo para ajustar las prácticas de manejo y fertilización de éste.

4.2.2.5.1. Clase de suelo

Con la determinación de los porcentajes de limo, arcilla y arena se determina la clase textural a la cual pertenece el suelo. Esta se realiza mediante el diagrama textural de la USDA (ANEXO 4).

- Las **texturas arcillosas** dan suelos plásticos y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la micro porosidad y a su elevada capacidad de intercambio cationico. Aunque retengan agua en cantidad presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas (Gisbert, J. M; Ibáñez, Sara & Moreno, Héctor, 2010).

- La **textura arenosa** es la contrapuesta a la arcillosa, pues cuando en superficie hay una textura arenosa los suelos se conocen como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado (Gisbert, J. M; Ibáñez, Sara & Moreno, Héctor, 2010).

- La **textura limosa** presenta carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se apelmazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de costras superficiales que impiden la emergencia de las plántulas (Gisbert, J. M; Ibáñez, Sara & Moreno, Héctor, 2010).

- Las **texturas francas o equilibradas** al tener un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables de las anteriores sin sufrir sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que nos desviamos de ella se van

mostrando los inconvenientes derivados (Gisbert, J. M; Ibáñez, Sara & Moreno, Héctor, 2010).

Tabla 2 Clases texturales según el porcentaje de arena, limo y arcilla

Clase textural	Rango % en el contenido de:		
	Arena	Limo	Arcilla
Arenosa	100-85	15-0	10-0
Arenosa francosa	90-70	30-0	15-0
Franco arenosa	85-43	50-0	20-0
Franca	52-23	50-32	27-7
Franco limosa	50-0	87-50	27-0
Limosa	20-0	100-80	12-0
Franco arcillo arenosa	80-45	28-0	35-20
Franco arcillosa	45-20	53-15	40-27
Franco arcillosa limosa	20-0	73-40	40-27
Arcillo arenosa	67-45	20-0	55-35
Arcillo limosa	20-0	60-40	60-40
arcillosa	45-0	40-0	100-40

Fuente: Jaramillo, J. D. F. 2002.

V. MATERIALES Y METODOS

4.2. Descripción de la zona de estudio

La investigación se llevó a cabo en Dipilto, municipio del departamento de Nueva Segovia, el cual se encuentra ubicado en la parte norte de Nicaragua, entre las coordenadas geográficas 13°43'0" N y 86°30'0" O. Ocupa una extensión territorial aproximadamente de 108 km², limitando al norte con Honduras, al sur con Ocotal, al este con Mozonte y al oeste con Macuelizo. Presenta dos formaciones topográficas diferentes la zona del valle (plana), cuya altitud alcanza hasta los 620 m.s.n.m y la zona de cerros donde se encuentra la cumbre más alta de Nicaragua, el cerro Mogoton a 2107 m.s.n.m situado en la frontera con Honduras.

La precipitaciones anuales en Dipilto oscila entre 1000 y 1200 mm, la zona posee una temperatura promedio de 23 y 24°C la topografía de los suelos es ondulada los suelos que predomina son pocos profundos y de textura arenosa, presenta elevaciones topográficas que van desde los 200-1700 msnm. El uso actual que tienen las tierras principalmente la agricultura, siendo el café el principal rubro, demás se usa para la ganadería (Alcaldía de Dipilto).

La parcela fue establecida en la comunidad de Santa Martha, ubicada en la parte sur del municipio, de esta comunidad no se encuentra información para determinar su extensión territorial. Sin embargo se puede definir que los suelos en esta zona se encuentran deteriorados por el despale que se hace indiscriminadamente y el mal manejo que se ha hecho de los suelos, ocasionando que sea una de las partes más desprotegidas y erosionadas de la zona.

El área de estudio se encuentra ubicada aproximadamente a 1.5 Km de la ciudad de Ocotal, en la finca Belén, propiedad del señor Freddy Fidel Moncada Reyes, ubicada aproximadamente a 500 m hacia el este de la carretera Panamericana. El terreno seleccionado tiene una pendiente de 6.5%, a una altura de 652 msnm dicha altitud se debe a la cercanía que existe con la ciudad de Ocotal, por ende se cataloga como una zona del trópico seco intermedio (500-1000 m.s.n.m.) y precipitaciones irregulares (600-800 mm) (MAGFOR; INETER, 2010). Actualmente el terreno de dicha finca no se

encuentra en uso, se encuentra completamente abandonado.

4.3. Diseño experimental

El ensayo experimental se estableció en Mayo del 2013. El área total de estudio es de 748m² dividido en nueve parcelas de 68m², con una separación de 17 m², estableciendo 2 tratamientos; compost y lombrihumus con tres repeticiones, en donde se evaluó características físicas y químicas del suelo, utilizando un **Diseño de Bloque Completamente Aleatorizado (DBCA)**.

4.4. Definición de Tratamientos

Se establecieron dos tratamientos los cuales son compost y lombrihumus, ambos abonos orgánicos sólidos.

Tabla 3 Definición de los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Abonos	Dosis utilizada por m ²
C	Compost	0.454 Kg
L	Lombrihumus	0.454 Kg

Rostran& Col, (2012), recomienda incorporar 3 libras (1.363 Kg) de compost, por cada metro cuadrado y la incorporación del lombrihumus depende de la composición química del mismo. Por ser un ensayo experimental incorporamos 1 libra (0.454 Kg) de cada abono por cada metro cuadrado del área en estudio de esa manera determinar, cuáles son los efectos que estos abonos ocasiona en las propiedades químicas y físicas del suelo con dicha dosis.

Estos abonos fueron elegidos para el experimento, por ser dos abonos orgánicos sólidos que son fáciles de realizar para el productor y de costos bajos, además el valor de la materia orgánica que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos, 2000). El compostaje es un proceso microbiológico que convierte residuos de materiales orgánicos en diferentes grados de descomposición en un producto estable e higiénico, que puede ser usado como un mejorador de suelo (Atlas y Bartha, 1997). Según Atiyeh (2000) en el lombrihumus las lombrices se alimentan de los residuos orgánicos, al hacer esa acción ellas ingieren una

amplia gama de materiales alimenticios los cuales incluyen bacterias, hongos, protozoarios y nematodos.

4.5. Establecimiento del experimento

El estudio se realizó en cinco fases:

1^{ra} Fase: Elaboración de abonos orgánicos

Compost, se realizó la recolecta de los materiales (estiércol de ganado, desechos de comida, tallos de plátano, materia verde, ceniza, aserrín y tierra). Materiales ricos en nitrógeno: estiércol de vaca, hierba tierna, hojas de leguminosas (madero negro, leucaena, frijol). Materiales ricos en minerales: ceniza, tierra común y agua.

Todos los materiales a utilizar se trituraron dejándolos con un tamaño no menor de 1.3 cm, porque tienden a formar una masa y no dejan que haya oxígeno presente, con el fin de acelerar la descomposición.

Se enterraron dos pedazos de bambú (respiraderos) quedando éstos en el centro de la abonera, los que sirvieron para la aireación de esta.

➤ Determinación de la humedad

Se mantuvo un control adecuado de la humedad en la abonera desde el principio, haciendo uso de un método de campo llamado “prueba del puño”, de igual manera cuando realizamos el primer volteo a las dos semanas de realizada la abonera. El método del puño consiste en sacar del centro de la abonera un puño de material y si al exprimirse, escurre de 6 a 8 gotas significa que posee un 70% de humedad. Al formarse una masa compacta, entonces la humedad es correcta (Rostran, Castillo, & Bárcenas, 2012).

➤ Determinación de la temperatura.

La temperatura se hizo bajo condiciones de campo y consiste en meter un machete dentro del montón de la composta y se deja por unos 10 minutos, luego se extrae y se toca para sentir el calor del machete: si no resiste el calor del machete en las manos significa que el compost está muy caliente y se recomienda regar y abrir hoyos en la composta. Como consecuencia de que la temperatura se eleve durante la descomposición mueren huevos de insectos y otros microorganismos patógenos. La

composta fue de 65°C, la cual es considerada óptima para la descomposición de los materiales (Rostran, Castillo, & Bárcenas, 2012).

Realizamos el primer volteo a las 2 semanas de preparada la abonera, con el objetivo que la descomposición sea homogénea. Luego se removió una vez por semana según como se encontraba la temperatura y la humedad.

Lombrihumus, respecto a este abono orgánico sólido, se compró en la ciudad de Somoto, departamento de Madriz, en el Centro de Iniciativa para el Desarrollo (CIDES), el alimento que se les suministra a las lombrices (*Eisenia foétida*) es estiércol de ganado bovino, desechos de comida, previamente seleccionados con el fin de no provocar ningún daño a la especie utilizada, estas (lombrices) se encuentran en bancales ubicados en el área de tratamiento de residuos (basurero municipal).

2^{da} Fase, Selección del terreno.

Se determinó el terreno con una pendiente de 6.45, de manera que no afectara la escorrentía provocada por las precipitaciones para ello la determinamos haciendo uso del aparato "A", a nivel con un extremo en el suelo y el otro en el aire indicando la pendiente hacia abajo. Se midió con una cinta métrica la distancia entre el suelo y el extremo que está en el aire. El resultado obtenido en centímetro se dividió entre 2 y de esa manera obtuvimos el porcentaje de pendiente.

3^{ra} Toma de muestra de suelo antes de la incorporación y envió de las muestras al laboratorio (suelo).

En seguida se tomaron 3 muestras superficiales (20 cm) mixtas por cada área, tanto de lombrihumus como de compost, las cuales se mezclaron para obtener una muestra homogénea de suelo equivalente a 6 muestras, estas se enviaron al laboratorio de suelo de la Unan-León, para un análisis químico. Luego de ello se realizó un paso de grada con el fin de remover el terreno y dejarlo suelto para que se incorporaran los abonos.

4^{ta} Fase, incorporación de los abonos, Procedimientos.

Se incorporaron 454g (0.454 Kg) de lombrihumus y compost por cada metro cuadrado del área, es decir que se incorporaron 30,872g (30.872 Kg) por cada una de las áreas las cuales miden 68 m², en total se incorporaron 92,626g (92.616 Kg) de lombrihumus y

compost. Aplicándose la misma cantidad cada dos meses para un total de tres repeticiones en un lapso de tiempo de seis meses. Después de incorporados se realizó un paso de grada con el objetivo de homogenizar la incorporación del abono en el suelo.

5^{ta} Fase, Toma de muestras de suelo después de la incorporación

Luego de finalizar la 4^{ta} fase, recolectamos 3 muestras mixtas por cada parcela donde se incorporó el abono, estas fueron mezcladas para obtener una muestra total, posteriormente fueron enviadas al laboratorio de suelo de la UNAN-LEÓN.

4.6. Diseño del trabajo experimental

A continuación se muestra una representación gráfica de la distribución de las parcelas en el campo y la ubicación de cada punto donde se extrajeron las muestras para el análisis del suelo; previa y post incorporación de los abonos orgánicos sólidos.

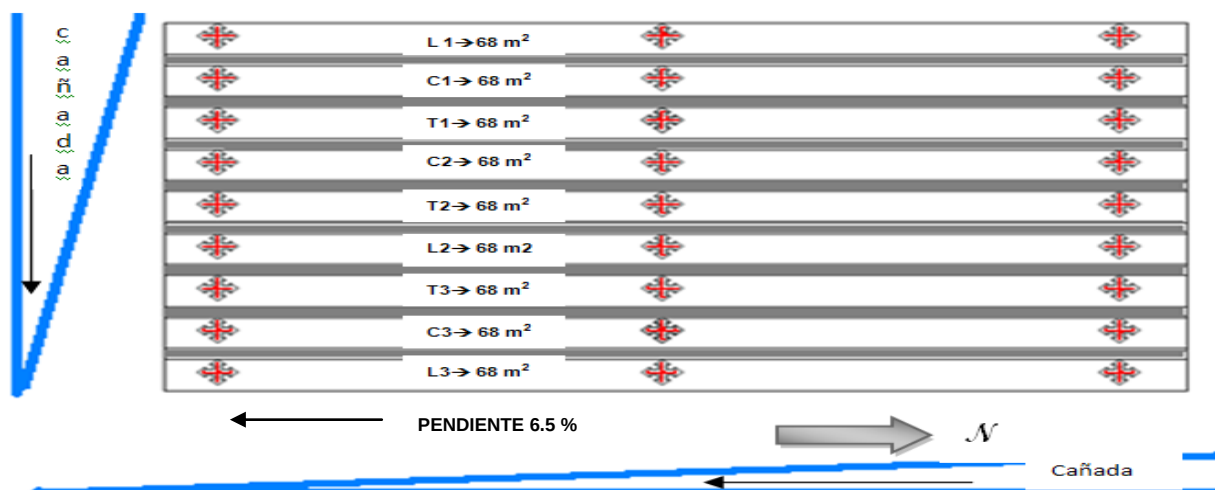


Ilustración 1 Diseño del área de estudio y puntos de extracción de muestras antes y después de incorporado los abonos.

✚ Puntos donde se tomaron las muestras de 20 cm de profundidad, para sus debidos análisis de suelo, antes y después de la incorporación de los tratamientos

Área de cada parcela= 68 m². Área total= 748 m²

4.7. Variables evaluadas

4.7.2. Características Químicas

✓ N-P-K.

Para las áreas en estudio se determinó el contenido de **N-P-K** mediante un análisis de suelo previo y post incorporación, usando la técnica de espectrofotometría. Para determinar el N, se aplicó el método Cataldo Modificado a razón de 5-15 mg/100g de suelo, en la determinación del Fosforo se aplicó el método Bray II tomando como referencia 20-30 mg/100g de suelo y para el Potasio se aplicó Acetato Amónico el cual se tomó como referencia 20-35 mg/100 g de suelo (Laboratorio de suelo UNAN-LEÓN).

✓ Materia orgánica

Se determinó mediante un análisis químico haciendo uso del método de walkley-black para determinar el carbono orgánico, consiste en una técnica de combustión húmeda para estimar el carbono orgánico en el suelo. Un factor de corrección se usa para convertir el valor de walkley-black a un contenido de materia orgánica. El valor común para el factor es 1.724 basado en la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene 58% de carbono orgánico. Un repaso de la literatura revela que el factor es altamente variable no solamente entresuelo sino que también entre horizontes en el mismo suelo (Broadbent, 1953). Además un factor de recuperación se usa porque el método de walkley-black no oxida completamente el carbono orgánico.

Una muestra de suelo se oxida con dicromato de potasio 1N y ácido sulfúrico concentrado (razón de volumen 1:2) después de 30 minutos la reacción se detiene por dilución con agua. El exceso de dicromato se valora o titula por retroceso con sulfato ferroso. Un blanco se lleva a cabo a través del procedimiento para estandarizar el sulfato ferroso, el porcentaje de carbono orgánico se reporta en base al suelo secado en el horno.

Ecuación 1 Porcentaje de materia orgánica

$$\%MO = \frac{(meq K^2Cr^{2}O^7 - meq Fe^{2}SO^4)(0.003)(100)}{g \text{ de suelo libre de agua}}$$

Dónde:

Meq $K_2 CR_2 O_7$: el volumen de $K_2 CR_2 O_7$ x N

Meq Fe_2SO_4 : el volumen de Fe_2SO_4 x N

0.003: Es el peso meq del Carbono

100: para convertir en base a 100

N: Normalidad del sulfato ferroso

✓ **pH.**

El pH del suelo es una de las mediciones más indicativas de las propiedades químicas del suelo. Si un suelo es ácido neutro o básico tiene mucho que hacer con la solubilidad de muchos compuestos. El pH del suelo es una medida del Hidrogeno ionizado (H^+) en la solución del suelo, el H^+ esta en equilibrio con el H no ionizado absorbido pero usualmente es una pequeña fracción de él. Para determinar el pH, se utilizó un pH metro digital, el cual indica si el suelo es ácido, neutro o básico.

Pesamos 10g de suelo seco al aire en frasco de boca ancha, luego agregamos 25ml de líquido agitándolo por 30 minutos, antes de abrir el frasco para la medición se agito con la mano dos veces, introducimos el electrodo en la parte de arriba de la suspensión, leímos el pH cuando la lectura se ha estabilizado y al final anotamos la lectura obtenida (pH metro, TRISON 3884).

✓ **Conductividad eléctrica**

La conductividad de una solución acuosa es la medida de su capacidad para transportar una corriente eléctrica por medio del movimiento iónico.

La conductividad siempre aumenta con el aumento de la temperatura. Es afectado por el tipo y número de iones en la solución y por la viscosidad de la solución por sí mismo.

Solución acuosa tomada es con relación suelo-agua 1:2.5 (1g de suelo-2.5 ml de agua) y determinada mediante un conductivimetro.

4.7.3. Características Físicas

✓ **Capacidad de retención**

Es la cantidad de agua que un suelo retiene, contra la gravedad cuando se deja drenar libremente, (Carvazos, 1992).

Ecuación 2 Capacidad de retención

$$CR = \text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}$$

✓ **Textura del suelo.**

La textura influye como factor de fertilidad y en la habilidad del suelo para lograr altos rendimientos en los cultivos agrícolas, indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo.

La textura fue determinada por el método de sedimentación este se refiere al proceso de precipitación de pequeñas partículas sólidas inmersas en un fluido de densidad ρ por acción de la gravedad. Tales mezclas (parte sólida y fluido) se conocen como suspensiones.

El porcentaje de limo, arena y arcilla se determinó mediante el siguiente procedimiento: se pesó 150g de suelo que previamente habíamos determinado, colocamos 150 ml de agua en el vaso de precipitado junto con el suelo, se puso a calentar en la parrilla eléctrica, al alcanzar una temperatura media se agregó 50 ml de peróxido de hidrógeno, se agito continuamente, luego lo dejamos reposar por cinco minutos para observar cómo se quemaba la materia orgánica, retiramos la parrilla, colocamos la mezcla en la probeta y adicionamos 150 ml de agua potable. Lo dejamos reposar por una hora y observamos como el agua ascendía y como se formaban las capas de sedimento, finalmente tomamos la medida de las capas de arena, limo y arcilla con una regla de 30 cm.

Medimos el total del sedimento, y posteriormente cada una de las capas y utilizamos la siguiente fórmula (Cano García, 2011):

Ecuación 3 Textura

$$\% = \frac{\text{total del sedimento}}{\text{total de arena, limo, arcilla}} \times \frac{100\%}{1}$$

Luego de tener el porcentaje de arena, limo y arcilla, determinamos el tipo de suelo mediante el triángulo de textura.

✓ **Densidad aparente(ρ_a):**

La densidad aparente del suelo se define como el peso por unidad de volumen de suelo inalterado tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo espacios porosos (Pinot, 2000).

Para ello se determinó mediante el método de excavación.

Se tomó una muestra, que se extrae del horizonte del suelo mediante un cilindro manual calibrado, haciendo uso de la siguiente fórmula:

Ecuación 4 Densidad aparente

$$Dap = \frac{\text{Peso de suelo seco (g)}}{\text{Volumen total cm}^3}$$

Se utilizó una muestra de 150 g de suelo, luego se tomaron 20 g de suelo para determinar el porcentaje de humedad (%H) por el método de estufa, a una temperatura de 105° C, posteriormente se extrajo el suelo de la estufa pesándolo y se realizaron los debidos cálculos, con dicho resultado determinamos el peso de suelo seco (Anexo 2). Finalmente determinamos la densidad aparente haciendo uso de Ecuación 4.

✓ **Capacidad de infiltración.**

Es la facilidad del suelo para permitir el paso del agua (Carvazos, 1992). La tasa de infiltración de agua en el suelo determina la rapidez de infiltración de agua en el mismo y como consecuencia, el volumen de agua que escurre sobre la superficie. La infiltración de agua en el suelo refleja las condiciones de las propiedades físicas (UNAD).

Tomamos la muestra para observar las propiedades de infiltración que posee el suelo para permitir el paso de agua o del aire.

Ecuación 5 Capacidad de infiltración

$$CI = \frac{\text{Cantidad de agua aplicada (ml)}}{\text{Tiempo tardado en filtrarse (min)}}$$

Después de obtener los datos de infiltración del agua en ml/min en el suelo en estudio convertimos los milímetros en centímetros y los minutos a hora, para catalogar la clase de infiltración.

100ml=0.57 cm

1H=60 min

4.8. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de laboratorio serán presentados mediante tabla. Las pruebas estadísticas se realizaron a todos los parámetros químicos y físicos. Realizándose pruebas de estadística descriptiva (media). Los cuales se representaran por medio de tablas y graficas realizada a través del programa estadístico “Statiscal Program for Social Sciences” (SPSS 15.0).

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Resultado del efecto de los abonos en las características químicas del suelo

En la tabla 4, se observa los niveles determinados de nitrógeno, fosforo y potasio, mediante el análisis químico de suelo, cuyos valores fueron promediados, dichos valores fueron determinados en el laboratorio de suelo de la UNAN-LEON.

Tabla 4 Resultados en el contenido de N-P-K antes y después de la incorporación de compost y lombrihumus.

	Compost			Lombrihumus		
	Inicio	Final	Diferencia	Inicio	Final	Diferencia
N-NO3%	0.029	0.042	0.013	0.026	0.084	0.058
P2O5%	0.214	0.572	0.358	0.154	0.507	0.353
K2O%	0.184	0.487	0.303	0.151	0.758	0.637

N-P-K

El contenido inicial de Nitrógeno en el área donde se realizo el ensayo fue de 0.029% y 0.026%, con la incorporación de compost y lombrihumus se determino un contenido de 0.042% y 0.084% respectivamente. Dichas incorporaciones incrementaron el contenido de nitrógeno en ambos tratamientos; en el caso del compost se presento un incremento de 0.013% y lombrihumus incremento 0.058%. Comparando los resultados obtenidos con los criterios planteados por Moreno (1978), el contenido de Nitrógeno inicialmente era “extremadamente pobre” (rango 0.026-0.029%), al incorporar compost dicho contenido incremento, determinándolo en una categoría “pobre” (0.042%) y el lombrihumus se categorizo en “medianamente pobre” (0.084%) (Anexos, Tabla 15). En términos generales el nitrógeno es el macro nutriente más susceptible o inestable en el suelo, es decir, es propenso a ser fijado por las arcillas o de ser lixiviado por medio de la percolación del agua en los horizontes del suelo, por lo que sus concentraciones en el suelo varían en términos de tiempo y condiciones (Fassbender, 1980).

El nivel de Fosforo inicialmente fue de 0.214% y 0.154%, al igual que el nitrógeno con la incorporación de compost y lombrihumus los niveles de fosforo incrementaron, determinando un contenido de 0.572% y 0.507% correspondientemente. Ambas

incorporaciones reflejan un incremento de 0.358% y 0.353%, cuando se incorpora abonos orgánicos, estos aportan ciertas cantidades de fosforo orgánico y en una mayor cuantía se incorporaría el fosforo inorgánico, según lo planteado por Gil (1985), el fosforo se comportara como lo haría el fosforo de cualquier fertilizante fosfatado usual; es decir que al incorporar abonos orgánicos eleva los contenidos de fósforos disponibles de suelo de una manera parecida a los fertilizantes minerales.

En el caso del potasio inicialmente el contenido determinado fue de 0.184% y 0.151%, incorporando sobre el suelo compost y lombrihumus, determinamos un contenido de 0.487% y 0.758% respectivamente. Esto representa un incremento en el contenido de potasio en compost 0.303% y en lombrihumus 0.637%. La facultad que tienen los abonos orgánicos para aportar potasio, parece ser denominador común de muchos materiales orgánicos, tales como los estiércoles diversos (Debrey, 1979). El aumento del potasio puede derivarse del uso de estiércol vacuno como alimento en el caso de las lombrices y como parte de los materiales utilizados en la elaboración del compost. Comparando nuestros resultados con los establecidos por Pérez (1993), el usar abonos orgánicos incrementa el contenido de potasio, a pesar de que este macro nutriente es de los elementos que se pierde.

pH, Conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO)

En la Tabla 5 se demuestran los resultados obtenidos antes y después de la incorporación de compost y lombrihumus, y se refleja el efecto que produce dichos abonos en las características químicas como pH, Conductividad eléctrica y materia orgánica.

Tabla 5 Promedios de pH, CE y MO antes y después de los tratamientos aplicados (compost y lombrihumus) al suelo.

	Compost			Lombrihumus		
	Inicio	Final	Diferencia	Inicio	Final	Diferencia
pH	6.69	7.13	0.44	7.08	7.92	0.84
CE $\mu\text{s/cm}$	80.15	82.77	2.62	106.32	103.89	2.43
MO%	1.23	2.11	0.88	0.74	2.06	1.32

pH

El pH es el potencial de Hidrogeno el cual indica el nivel de acides o alcalinidad de un suelo. Inicialmente el pH del suelo fue 6.69 y 7.08, después de incorporar compost y lombrihumus dichos niveles aumentaron, en compost fue 7.13 y lombrihumus 7.92, según el laboratorio de la UNAN-LEON, inicialmente el suelo estaba catalogado como un suelo ligeramente ácido y neutro, pero con la incorporación de los abonos orgánicos su nivel de pH incremento a un suelo Neutro en el caso del compost y en el lombrihumus quedo un suelo ligeramente alcalino (Anexos, Tabla 14). Este incremento se debe a la presencia de cationes como el K^+ , tal como lo expresa Orozco Rafael y Muñoz Roger (2011) en su investigación del efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenatrichus*).

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

La conductividad eléctrica (CE) de suelo indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Antes de la incorporación de los abonos orgánicos compost y lombrihumus, la CE fue de 80.15 y 106.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, luego de aplicado los tratamientos la CE fue de 82.77 y 103.89 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto indica un incremento de la CE en el caso del compost mientras que en el caso de el lombrihumus, disminuyo su contenido, sin embargo estos valores no demuestran un peligro latente en caso de que se desee establecer un determinado cultivo porque dichos valores, se encuentran en un rango inferior al valor medio catalogado (300-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) por el laboratorio laquisa (Anexos, Tabla 11). Este incremento puede ser producto del estiércol, puesto que este fue empleado en la elaboración de compost y como alimento de las lombrices, tal como plantea Lehrs y Kincaid (2007) dicho estiércol posee altas concentraciones de sales solubles, principalmente el cloruro de sodio, de igual manera Salazar (2007) quien indica que la CE es alta, consecuencia de la incorporación de estiércol el cual incorpora 50 kg de sal al suelo por cada tonelada del mismo. Sin embargo este no es el caso debido a que la CE del área en estudio no presenta problemas de sales solubles, por sus bajas concentraciones.

MATERIA ORGANICA

La materia orgánica (MO), es indispensable en cualquier suelo porque de ella depende todo el ciclo vegetativo de los diferentes cultivos. Inicialmente la MO promediaba 1.23%

y 0.74%, con la aplicación de los tratamientos compost y lombrihumus el porcentaje de MO incremento, determinando un porcentaje de 2.11% y 2.06%, tomando en consideración los criterios establecido por el laboratorio laquisa, la MO orgánica se encontraba en un nivel bajo, pero al aplicar los abonos su nivel incremento catalogándolo como un porcentaje medio de materia orgánica. Y considerando los criterios planteados por el laboratorio de suelo de la UNAN-LEON (Anexos, Tabla 16), el porcentaje de materia orgánica no se acerca al optimo (>2.5%). El contenido bajo de materia orgánica en los suelos, debe de ser como consecuencia de la falta de vegetación, tal como lo explica Fitzpatrick (1996) quien señala que la mayoría de los suelos contienen 1.6% de MO pero en suelos sin vegetación, el porcentaje puede bajar a menos de 1%. Con los resultados obtenidos la materia orgánica se ve afectada positivamente, al igual que lo planteado por Castellanos (1986), quien señala que la adición de abonos orgánicos al suelo afecta positivamente el contenido de materia orgánica. La materia orgánica contribuye a que las partículas minerales individuales del suelo formen agregados estables, mejorando así la estructura del suelo y facilitando su laboreo, favorece la porosidad del suelo, mejorando así la aireación, la capacidad de infiltración y retención de agua. Estas características de la materia orgánica permite reducir los riesgos de erosión (INIA-URURI, 2010).

6.2. Resultado del efecto de los abonos en las características físicas del suelo

En la tabla 6 se pueden observar los contenidos de arcilla, arena y limo que poseen el área delimitada y el efecto que produce la incorporación de los abonos orgánicos. Dichos contenidos sirven para determinar la textura tomando.

Tabla 6 Porcentaje de arena, arcilla y limo antes y después de incorporado los abonos orgánicos compost y Lombrihumus al suelo.

Partículas		Inicialmente	Tratamientos	
			Compost	Lombrihumus
ARCILLA	%	41.14	40.64	42.33
ARENA		42.92	43.14	41.44
LIMO		15.94	16.22	16.23

La textura del suelo antes de la incorporación de los abonos orgánicos (tratamientos), según el método de campo para determinar la textura del suelo “Por Sedimentación”, el porcentaje de arcilla fue de 41.14%, arena 42.92% y limo 15.94%, clasificando el suelo como **Arcilloso** según el diagrama triangular de las clases de texturas, establecido por U.S.D.A. (Anexo 1), con la incorporación de los abonos orgánicos, las partículas incrementaron, arcilla 40.64%, arena 43.14% y limo 16.22%, en el caso del compost y con lombrihumus arcilla 42.33%, arena 41.44% y limo 16.23%. Sin embargo estas alteraciones no causan efecto en la clasificación de la textura del suelo, manteniendo así la clase textural determinada la cual continúa siendo **Arcillosa**.

Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Universidad de la república, 2004).

La mayoría de las propiedades físicas y químicas de un suelo depende indirectamente de la textura, pero directamente de su superficie específica, más que del tipo de minerales presentes; las reacciones y procesos se producen en las superficies de las partículas.

Tabla 7 Promedio Densidad aparente, Capacidad de retención y Capacidad de infiltración antes y después de incorporado los abonos orgánicos (compost y lombrihumus) a suelo.

Tratamientos	Pendiente (%)	Profundidad de muestra (cm)	Dap (g/cm ³)			CR (%)			CI(cm/h)		
			I	F	D	I	F	D	I	F	D
Compost	6.77	20	0.97	0.78	0.18	3.38	8.93	5.55	35.5	19.1	16.46
Lombrihumus	6.13	20	0.83	0.89	0.07	11.7	12.5	0.85	19.1	14.9	4.20

Dap: Densidad aparente CR: Capacidad de retención CI: Capacidad de infiltración
I: Inicio F: Final D: Diferencia

Densidad aparente

La densidad aparente (Dap) del suelo puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. La densidad aparente inicialmente fue de 0.977 g/cm³ y 0.83 g/cm³, con la incorporación de compost la Dap, Disminuyo, determinándola en 0.78 g/cm³, en cambio con la incorporación de

lombrihumus la D_{ap} aumenta significativamente en 0.89 g/cm^3 . Tomando en consideración la textura determinada en el estudio (Arcillosa) y lo establecido por Arshaad, (1996), los resultados obtenidos no afectarían el crecimiento radicular de los cultivos ya que se encuentra por debajo del rango ideal ($<1.10 \text{ g/cm}^3$), (Anexo Tabla 12). Estos valores bajos se debe a la presencia de cierto porcentaje de materia orgánica en la superficie del suelo tal como lo indica Fassbender (1987), la materia orgánica influye aumentando el volumen del suelo pero no su peso.

Capacidad de retención y capacidad de infiltración

La capacidad de retención indica el porcentaje de agua que un suelo retiene. Inicialmente la capacidad de retención (CR) del área (suelo) promedio 3.38%, al ser incorporado en el suelo el abono orgánico compost promedio 8.93%, representando un incremento promedio a 5.55%. La capacidad de retención inicialmente promediaba 11.69%, después de incorporado el abono orgánico lombrihumus en el suelo su CR promedio 12.64% incrementando a 0.85%.

La capacidad de infiltración inicialmente fue de 35.5 y 19.1 cm/h, con la aplicación de los tratamientos, la CI disminuyó en los dos tratamientos a 19.1 y 14.9 cm/h, de compost y lombrihumus respectivamente, lo cual refleja que la clase de infiltración está catalogada como moderadamente rápida, en ambas etapas (inicio y final), según lo establecido por el servicio de conservación de los suelos (Anexos Tabla 13).

El incremento de la capacidad de retención se debe al uso de abonos orgánicos los cuales generan un efecto positivo sobre la retención de agua, como lo plantea Promerino (2009), el abono orgánico incrementa la capacidad de retención, por ende la capacidad de infiltración será menor. Evitando un mayor gasto del uso del agua para irrigación.

VII. CONCLUSIONES

- La incorporación de abonos orgánicos sólidos (compost y lombrihumus) mejora las propiedades químicas y físicas del suelo, favoreciendo la fertilidad del mismo.
- Los abonos orgánicos aplicados contribuyeron con la disponibilidad de N-P-K incrementando sus porcentajes, de igual manera incrementaron los niveles de pH, el porcentaje de materia orgánica y la conductividad eléctrica, sin embargo esta disminuyo con la incorporación de lombrihumus.
- La textura no sufre cambio en su clase con la incorporación de compost y lombrihumus, sin embargo sus partículas de limo, arcilla y arena incrementaron su porcentaje.
- La densidad aparente incrementa con la incorporación de lombrihumus, sin embargo incorporando compost, esta disminuye.
- El porcentaje de capacidad de retención incremento con la incorporación de compost y lombrihumus.
- La capacidad de infiltración disminuyo incorporando 0.454 g/m^2 de cada abono orgánico solido.

VIII. RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en el estudio, dan cuenta que la incorporación de abonos orgánicos, mejora las propiedades químicas y físicas del suelo, lo que demuestra que se deben de realizar este tipo de prácticas para mejorar significativamente la fertilidad de los suelos.

- Evaluar otras especies de abonos orgánicos que presentan características de fácil asimilación por parte del suelo, para recomendar posteriormente su uso a productores, y que dichos resultados sirvan como objeto de comparación con los abonos que fueron evaluados en esta investigación.

- En futuros estudios realizar análisis de suelo antes, durante y después de la incorporación de abonos orgánicos, para determinar el estado de los suelos durante todo el periodo de incorporación.

- Utilizar abonos orgánicos como fertilizantes, sin embargo el cambio tiene que ser gradual para ayudar al suelo a restablecer su equilibrio natural.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera, R.A. 2009. Efecto del extracto del humus de lombriz, *Eisenia foétida*, en el desarrollo de la planta de rábano, *Raphanussativus* (Brassicaceae) y en el control de *Myzus persicae* (Hemíptera: Aphididae) y *Helicoverpa zea* (Lepidóptera: Noctuidae). Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 8p.
2. Álvarez, M.; M. García y E. Treto: Los abonos verdes una alternativa natural y Económica para la agricultura. Revisión bibliográfica. Cultivos Tropicales. INCA.16 (3), 1995: 9-24.
3. Arshad, M.A., B Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical test for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J.W.Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
4. Arteaga, O., L. Ojeda, C. Hernández, E. Brunet y W, Espinoza, 1999. Factibilidad de una agricultura sostenible y sus posibilidades en Cuba, 2do. Seminario Internacional de Agro ecología, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. Estado de México p 63-65
5. Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D. Y W. Shuster. 2000. Effects of vermicompost and composts on plant growth in Horticultural container media and soil. Pedobiology. Num. 44. P. 579-590
6. Atlas, R. M. Y R. Bartha, 1997. Microbial Ecology. Fundamentals and applications. 4th ed. ISBN 0-8053-0655-2. P. 470-476.
7. Batjes, N.H. & Dijkshoon, J.A. (1999). Carbon and nitrogen stocks in soil of the Amazon region. Geoderma, 89, 273-286.
8. Barbado, José Luis. Cría de lombrices Noviembre 2004. 1a edicion-1a reimpresión – 3000 ejemplares impreso en grafica MPS S.R.L. Santiago del estero 338 –Lanús Oeste Buenos aires- república Argentina noviembre de 2004. Albatros, 2004. Pág. 31.
9. Bidlingmaier, W. 1996. Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B., Papi, T. (Eds.). The Science of Composting, Vol I, pp. 71-79. Blackie Academic & Professional, London
10. Bohn, M.L. McNeal, B.L. & O'connor, G.A. (1993). Química del suelo. México D.F., Mexico: Limusa.
11. Brandy, N. Y Well, R. 1999. The nature and properties of soils. 12 ed. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey, USA. P.430-431
12. Broadbent, F. E. 1953. The soil organic fraction. Adv. Agron. 5:153-183
13. Burbano H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño. 447 p.

14. Cancio, T., J. L y F. Peña. 1988. Efecto de la incorporación de abonos verdes en áreas tabacaleras. Información Express. Suelos y agroquímica. Vol. (12) 3: 11-13, 1988.
15. Cano García, A. (2011). Manual de prácticas de la materia de edafología. Chiapas: Chiapas gobierno del estado.
16. Castellanos, Uvalle-Bueno y Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo. Aguas agrícolas, plantas y ECP. P 48-56.
17. Castillo LE & Gonzales GI (1989) Determinación de la materia orgánica, en: El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de asistencia técnica N° 47. Citado por Rojas et al, 1989.
18. Castro, L. Biotecnología Agro colombiana. Fundación Colombiana de Ciencias.1995
19. Chaney, D.E., Drinkwater, L.E. and Petty grove, G.S. 1992. Organic soil amendments and fertilizers. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 21505. 36 p.
20. Chavarría I et al, (2001) investigación sobre Lombricultura, UNA, Managua, Nicaragua, No publicado.
21. Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Trad. M Rasskin. Madrid, ES, Paraninfo. 416 p.
22. Dalzell, H., A. Biddlestone, K. Gray y T. Thurairajan, 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín de suelos FAO (56), Roma. Italia. 177 pp.
23. Debrey, I.M.: Essai de fertilization forestiere por du liser de pores. I. Aspect Phisicochimiques. Pedobiologic 19, 1979: 138-152.
24. Doran, J.W. y Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdic & BA Stewart (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.
25. Donoso Zegers, C. (1992). Ecología forestal. Editorial Universitaria, universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
26. Domínguez, A.S. 2010. Evaluación de las propiedades físicas, fisicoquímicas y de la fitotoxicidad de compost comerciales para su uso en la formulación de sustratos de cultivo". E.S.A.B. 13-15 p.
27. Elvira, C., J. Domínguez, & M. J. Briones. 1996. Growth and reproduction of *Eisenia andrei* and *E. Foétida* (Oligochaeta, Lumbricidae) in different organic residues. Pedobiologia. 40: 377-384.

28. Ekinci, K., Keener, H.M., Elwell, D.L. 2004. Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. Trans. ASAE, 47 (5): 1697-1708.
29. EMISON, Compost. Barcelona. Vallirana nº 67. Disponible en www.emison.es/ecologia/pdf/compostaje/COMPOST.pdf
30. Fassbender, Hans W. Y Bornemiza Elemer, 1987. Química de suelo con énfasis en suelos del Extensionista, Gobierno de Nicaragua y Noruega. 127 p.
31. Félix, J., Raudel, R., Rojo, G., Martínez, R., & Olalde, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai, 62.
32. Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. México, D. F.
33. Gabriels, d. & Deyanira lobo. 2006. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. Venesuelos 14:37-47
34. García, M. 2005. Cría de la lombriz de tierra: una alternativa ecológica y rentable. Bogotá, CO, Fundación Hogares Juveniles Campesinos. 105 p
35. Gil, F.; F. Díaz-Fierro, M.C. Leiros, T. Carballos; A. Cabaneiros; M.C. Villar y M. Carballos: el fosforo en los purines de vacuno. Gallego, I. Contenido y distribución de las formas de fosforo. Anales de Edaf. Y Agrobiol. 44. 1985:427
36. Gisbert, J. M; Ibáñez, Sara; Moreno, Héctor; "La textura de un suelo" Ed.: Universidad Politécnica de Valencia, 2010, Págs. 8
37. González, E. S.f. Fundamentos para el cultivo de lombriz roja californiana. (En línea).s.l. SENA. Consultado 17 ene. 2013. Disponible en <http://www.graeco.iespana.es>
38. Gros. A y Domínguez, A., 1992. Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. 450 p.
39. Guía de jardín happy flower. México. Consultado 15 ene. 2013. Disponible en www.happyflower.com.mx/Guia/07_abonosorganicos.htm
40. Hadas, A.; B. Bar-Yosef. S. Davidov y M. Sofer. : Soil Sci. Soc. Of, Am. J. 47. 1983 1129
41. Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
42. Henis, Y. 1986. Soil microorganisms, soil Organic Matter and Soil Fertility. In: The Role of Organic Matter in moderm Agriculture. Eds. Y. Chen and Y. Avnimelech. Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht. Pp. 158-168.

43. Heredia, C., G. Losuamo, G. D' Acosta, E. Lorente y A. Cuesta, 2000. Nuevo Biofertilizante de uso Foliar para la agricultura, 2da. Convención Internacional de Educación Superior, Editorial "Félix Varela, Universidad Agraria de la Habana, Cuba. P 36
44. Hidalgo, P. Y Harkess, R. 2002. Earthworm castings as a substrate amendment for chrysanthemum production. Hort Science December 2002 vol. 37 no. 7, 1035-1039.p.
45. Hidalgo, P. Y Harkess, R. 2002. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. P 108
46. Hoitink, H.A.J.; Stone, A.G. & Grebus, M.E. (1995) "Suppression of plant diseases by composts" in *The Science of Composting*, Proc. Of Eur. Com. Int. Symp., pp. 49-59; Blackie Ac. & Prof.
47. INETER, 2010. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Registro de datos meteorológicos. Managua, Nicaragua
48. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, PE). 2008. Producción y uso del humus de lombriz. Lima, PE, INIA. 11 p.
49. INSTITUTO PARA EL DESARROLLO Y LA DEMOCRACIA, 2009. Abonos orgánicos. GUIA TECNICA ABONOS ORGANICOS. 1ª. EDICION. 56 PAGINAS. Pág.16-35.
50. INTEC (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile). 1999. Manual de Compostaje. Santiago, CL. 82 p.
51. Instituto de investigaciones agropecuarias. (23 de Abril de 2010). *Informativo, INIA-URURI*. Recuperado el 25 de julio de 2014 de http://platina.inia.cl/ururi/docs/Informativo_INIA-URURI_23.pdf
52. Jaramillo, J. D. F. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. [Libro en CD-ROM]. 1a ed. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
53. Jeavons, J: Cultivo Biointensivo de Alimentos, México. 1991: 204.
54. Jeris, J.S., Regan, R.W. 1973. Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting. Part II, Compost Sci. 14 (March-April): 8-15.
55. Jhon Wiley & Sons Inc. (1980). Propiedades Físicas del suelo. En J. Wiley, Fundamentals of soil science (pag. 65). México D.F: CONTINENTAL S.A.
56. Kirkham, M. B.: Advances in Agronomy. 35. 1982: 129.
57. Lee, Y. S. Y R. J. Bartlett: Stimulation of plant growth by humic substances. Soilsci. Am. J. 40. 1976: 876-879.

58. Leite, G. Penido, J., 2006 Manual de gestión integrada de residuos municipales en ciudades de América latina y el Caribe pág. 170-173. 1ª. Edición
59. Lehrs, G.A. and D. C. Kincaid. 2007. Compost and manure effects on fertilized corn silage yield and nitrogen uptake under irrigation. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 38: 2131-2147.
60. Luis, F., Rojas, N., Roldan, T., Ramirez, M., Zegarra, H., Hernandez, R., y otros. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Mexico D.F.: Impreso y hecho en Mexico.
61. Kulcu, R., Yaldiz, O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. Biores. Technol., 93 (1): 49-57.
62. Madejón, E., Díaz, M.J., López, R., Cabrera, F. 2002. New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. Biores. Technol., 85: 73-78.
63. Manejo de la fertilidad del suelo. S.f. (en línea). Perú. Consultado 02 feb. 2010. Disponible: http://www.cooperacionsuiza.admin.ch/peru/.../resource_es_97814.pdf.
64. Martínez, C., 1996. Potencial de Lombricultura. México. Págs. 92-94.
65. Martínez, C. C., C. Martínez y A.N. Méndez. 2002. Utilización de la lombricomposta en la producción de hortalizas ecológicas. Lombricultura y abonos orgánicos. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio. Facultad de ciencias Agrícolas. UAEM. P 140-142
66. Mayea, S. S: Instructivo para la elaboración de compost (Biotierra) a partir de desechos de la agricultura mediante el uso de inóculos microbianos. 1993: 14.
67. Miller, R. Y Donahue, R. 1995. Soils in our environment. Ed. J.V. Miller 7a ed. Prentice Hall. Englewood Cliff, New Jersey. USA. P 205-206.
68. MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION, REIMPRESION 1999 EDICION MUNDI-PRENSA, Págs. 93-94, 107, 115
69. Monge, G. 1999. Agricultura orgánica: memoria sobre el simposio Centro Americano. 1ed. Editorial universidad estatal a distancia (EUNED). San José, CR.
70. Montero, R.; R. Ortega y A. Aguilar: Estudio del contenido de carbono y nitrógeno en algunos abonos orgánicos y su efecto en la mineralización e inmovilización del nitrógeno. Revista Chapingo. 13- 14. 1978: 57-67.
71. Moreno D.R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH. México D.F.

72. Navarro García, g., & Navarro García, s. (2013). Química agrícola. *Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas 3ª edición*. Madrid, España: ediciones Mundi-prensa
73. Ochoa, M., C. Bustamante y R. Rivero. 2000. Utilización de fuentes de abonos orgánicos en combinación con fertilizante mineral (NPK) para la producción de posturas de Coffea arabica L. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial "Félix Varela. Universidad Agraria de La Habana, Cuba., p 7.
74. PASOLAC. (2006). Guía técnica de conservación de suelos y agua. San Salvador: New Graphic, S.A. de C.V.
75. Payán, F. 2010. El manejo de la materia orgánica del suelo en sistemas sustentables de producción orgánica (diapositivas). San Salvador, SV. S.e. 28 Diapositivas.
76. Pedro Pablo Velázquez M. E-mail: humusproducir@yahoo.es--lombriz@lycos.com
77. Pérez, P.J. Gandarilla y R. Curbeta: uso de alternativas para la nutrición de los cultivos en condiciones de organoponicos. III congreso Cubano de la ciencia del suelo. II seminario científico de la Est. Exp "la Renee" Resúmenes 22-24 Dic., 1993:53
78. Pinot, R, H. (2000). Manual de Edafología. Ed. Computec. Chile.
79. Programa de apoyo a la formación profesional para la inserción laboral en el Perú. (Julio de 2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Etapas del compostaje. Perú.
80. PROMERINOR 2009 Cia Ltda., Abonos orgánicos. Consultado 13 ene. 2013.Disponible en <http://www.promerinor.com/author/userino>
81. Real, F. 2007. Fijación simbiótica con plantas no leguminosas. Tema 18. Págs. 17-18. Disponible <http://freal.webs.ull.es/btema18.pdf>
82. Reinecke, A. J. & S. A. Viljoen. 1991. A comparison of the biology of Eisenia foétida and Eisenia andrei (Oligochaeta). Biology and Fertility of Soils. 11: 295-300.
83. Reyes, H.A., S.A. Manes y G. M. Gessa. 2000. Efecto de la aplicación del residuo solido del despulpe del café sobre las propiedades de un suelo. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial "Félix Varela. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. P 8
84. Richmond, P., & Rillo, S. (2006). Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa. Buenos Aires: INTA EEA.
85. Rostran, J., Castillo, X., & Bárcenas, M. (2012). Manual de abonos orgánicos. León: UNAN-León.

86. Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Rev. Int. Bot. Exp.* 76: 169-185.
87. Sánchez, Javier. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. *Parte i: fertilidad del suelo*. Perú. FERTITEC s.a.
88. Santibañez, C. (2005). Universidad de Chile. Recuperado el 2 de Enero de 2015, de Facultad de ciencias físicas y matemáticas Universidad de Chile: mct.dgf.uchile.cl/.../medio_mod1.1.htm
89. SHINTANI, M. (2000) Manejo de Desechos de la Producción Bananera, Quito-Ecuador, pp. 20-65.
90. Sims, R. W. & B. M. Gerard. 1985. Earthworms. In: D. M. Kermack and R. S. K. Barnes (Eds.). *Synopses of the British Fauna (New Series)*, No. 31. Linnean Society, London.
91. Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. In *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura* (2003, San José, CR). Memoria. Ed. G Meléndez. San José, CR, CIA-UCR. 20-49 p.
92. Soto, G. Y C. Muñoz. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura. *Manejo integrado de plagas y Agro ecología. Sección Agricultura Orgánica. Agricultura Ecológica CATIE, Turrialba, Costa Rica. No. 65. P. 123-125*
93. Suquilandia, M. 2003. Agricultura orgánica. *Alternativa Tecnológica del futuro*. Págs. 219-240.
94. Tasa de infiltración de agua en el suelo. [Http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin_28_tasa_de_infiltracin_de_agua_en_el_suelo.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin_28_tasa_de_infiltracin_de_agua_en_el_suelo.html)
95. Tomati, U., Madejon, E., Galli, E. 2000. Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Sci. Útil.*, 8 (2): 108-115.
96. Ulloa, E. (2012). Manual básico de lombricultura. *Practica y aplicaciones de abonos orgánicos*, 16-17.
97. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA, Facultad de agronomía. (2004). La textura del suelo. *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo, Uruguay
98. UNIVO (Universidad del Valle de Orizaba, MX). S.f. Aprendiendo: Lombricompost vertical. (en línea). México. Consultado 17 ene. 2013. Disponible en <http://www.univo.edu.mx>.

99. Uribe Lorío, L. 2003. Calidad microbiológica e inocuidad de abonos orgánicos. In Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura (2003, San José, CR). Memoria. Ed. G Meléndez. San José, CR, CIA-UCR. 165-184 p.
100. Walkley A. & Black, I. (1934). An examination of the Deg jt jareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil sciences, 37, 29-38.
101. Zhu, N.W. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. Biores. Technol. 97 (15): 1870-1875.

X. Anexos

Tabla 8 Fertilidad del suelo antes y después de la incorporación de los abonos (compost y lombriabono).

Variable	C1		C2		C3		L1		L2		L3	
	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
N	2.5	4.4	2.8	5.8	3.4	2.6	2.6	14.9	3.1	8.2	2.2	2.3
P	11.6	42.4	37.1	90.0	15.5	39.2	13.9	56.6	19.2	38.8	13.3	64.8
K	16.7	19.5	21.5	88.6	17.2	38.0	15.7	82.4	16.0	105.4	13.6	39.7
pH	6.84	7.28	6.61	7.07	6.63	7.06	7.80	8.18	6.81	7.84	6.64	7.75
CE µs/cm	84.52	86.38	61.57	65.03	94.37	96.36	119.12	118.33	82.63	83.33	117.22	110.03
MO%	1.56	2.23	0.27	1.59	1.87	2.51	0.94	2.02	0.67	2.09	0.62	2.09

N-P-K= mg/100

I= Inicio

F=Final

Tabla 9 Porcentaje de limo, arcilla y arena del suelo antes y después de la incorporación.

Parcelas	Limo		Arcilla		Arena		Textura	
	%							
	I	F	I	F	I	F	I	F
L1	17.40	17.45	43.96	44.10	38.64	38.45	A	A
C1	16.67	17.12	42.60	43.08	40.73	39.80	A	A
L2	15.28	15.78	46.33	46.74	38.39	37.48	A	A
C2	15.82	16.31	41.46	41.91	42.72	41.78	A	A
C3	15.00	15.23	36.69	36.94	48.31	47.83	A	A
L3	15.31	15.46	35.82	36.16	48.87	48.38	A	A

A: Arcilloso

I: inicio

F: final

Tabla 10 Densidad aparente, capacidad de retención y capacidad de infiltración.

Parcela	Pendiente (%)	Profundidad de muestra (cm)	Dap (g/cm ³)			CR (%)			CI (cm/h)		
			I	F	D	I	F	D	I	F	D
C1	6.50	20	0.98	0.72	0.26	2.14	4.97	2.83	27.14	15.40	11.74
C2	6.50	20	0.97	0.78	0.18	3.43	8.79	5.36	14.61	13.25	1.36
C3	7.30	20	0.95	0.85	0.11	4.58	13.04	8.46	64.77	28.50	36.27
L1	5.80	20	0.70	1.01	0.31	13.59	14.60	1.01	27.14	25.90	1.24
L2	7.30	20	0.91	0.77	0.14	8.18	9.62	1.44	16.28	8.38	7.90
L3	5.30	20	0.87	0.90	0.04	13.30	13.40	0.10	13.90	10.45	3.45

Tabla 11 Niveles óptimos según laboratorio LAQUISA

Nombre	Símbolo	Unidad	Niveles			
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Materia orgánica	MO	%	0.61-1.8	1.81-3.0	3.1-4.2	>4.2
Nitrógeno	N	%	0.033-0.095	0.096-0.158	0.159-0.222	>0.222
Fosforo	P	ppm	0-10	11-20	21-30	31-40
Potasio	K	meq/100	<0.2	0.3-0.6	0.6	>0.6
Conductividad eléctrica	CE	µs/cm		300-800		
pH		Acido	Ligeramente acido	Neutro		
		4.65-5.55	5.65-6.8	6.85-7.2		
		Ligeramente alcalino	Alcalino	Muy alcalino		
		7.25-8.4	8.45-9.4	>9.4		

Tabla 12 Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo (Arshad et al., 1996)

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular
Arena, areno-franco	<1.60	1.69	>1.80
Franco-arenosa, franco	<1.40	1.63	>1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	<1.40	1.60	>1.75
Limosa, franco-limosa	<1.30	1.60	>1.75
Franco-limosa, franco-arcilloso-limosa	<1.40	1.55	>1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco arcillosas (33-45% de arcilla)	<1.10	1.39	>1.58
Arcillosa (<45% de arcilla)	<1.10	1.39	>1.47

Tabla 13 Velocidades de infiltración (Servicio de conservación de recursos naturales)

Velocidad de infiltración (cm/h)	Clases de infiltración
>50-80	Muy rápido
15.24-50.80	Rápido
50.80-15.24	Moderadamente rápido
15.24-5.08	Moderado
5.08-1.52	Moderadamente lento
1.52-0.51	Lento
0.51-0.0038	Muy lento
<0.0038	Impermeable

Tabla 14 Criterios usados para evaluar los niveles de pH en el suelo (Laboratorio de suelo UNAN-LEON)

pH	Nivel
<4.5	Muy ácido
4.6-5.2	Ácido
5.3-5.9	Moderadamente ácido
6.0-6.6	Ligeramente ácido
6.8-7.2	Neutro
7.3-7.9	Ligeramente alcalino
8.0-8.5	Moderadamente alcalino
8.6-9.3	Alcalino
>9.4	Muy alcalino

Tabla 15 Criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno total (Moreno, 1978).

Categoría	Valor (%) de nitrógeno en suelo
Extremadamente pobre	< 0.032
Pobre	0.032 - 0.063
Medianamente pobre	0.064 - 0.095
Medio	0.096 - 0.126
Medianamente rico	0.127 - 0.158
Rico	0.159 - 0.221
Extremadamente rico	> 0.221

Tabla 16 Interpretación de análisis de suelo (laboratorio de suelo UNAN-LEON)

Nutrientes	Concentración optima
Fosforo	20-30 mg/100 g de suelo
Potasio	20-35 mg/ 100 g de suelo
Nitrógeno total	0.15-0.20%
Calcio	250-400 mg/100 g de suelo
Magnesio	25-50 mg/100 g de suelo
Materia orgánica	>de 2.5%
Hierro	0.1-0.3%
Conductividad eléctrica	300-800 μ s/cm

Tabla 17 ANOVA N-P-K

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
N	Compost Antes	3	2,9000	,45826	,26458	1,7616	4,0384	2,50	3,40
	Lombrihumus Antes	3	2,6333	,45092	,26034	1,5132	3,7535	2,20	3,10
	Compost Después	3	4,2667	1,60416	,92616	,2817	8,2516	2,60	5,80
	Lombrihumus Después	3	8,4667	6,30423	3,63975	-7,1939	24,1272	2,30	14,9
	Total	12	4,5667	3,70389	1,06922	2,2133	6,9200	2,20	14,9
P	Compost Antes	3	21,4000	13,73572	7,93032	-12,7214	55,5214	11,6	37,1
	Lombrihumus Antes	3	15,4667	3,24705	1,87469	7,4005	23,5328	13,3	19,2
	Compost Después	3	57,2000	28,45066	16,42600	-13,4754	127,8754	39,2	90,0
	Lombrihumus Después	3	53,4000	13,29210	7,67420	20,3806	86,4194	38,8	64,8
	Total	12	36,8667	24,35082	7,02948	21,3949	52,3384	11,6	90,0
K	Compost Antes	3	18,4667	2,63881	1,52352	11,9115	25,0218	16,70	21,50
	Lombrihumus Antes	3	15,1000	1,30767	,75498	11,8516	18,3484	13,60	16,00
	Compost Después	3	48,7000	35,77108	20,65244	-40,1603	137,5603	19,50	88,60
	Lombrihumus Después	3	75,8333	33,33862	19,24806	-6,9844	158,6510	39,70	105,4
	Total	12	39,5250	33,20315	9,58492	18,4287	60,6213	13,60	105,4

Tabla 18 ANOVA pH, CE, MO

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH	Compost Antes	3	6,6933	,12741	,07356	6,3768	7,0098	6,61	6,84
	Lombrihumus Antes	3	7,0833	,62644	,36168	5,5272	8,6395	6,64	7,80
	Compost Después	3	7,1367	,12423	,07172	6,8281	7,4453	7,06	7,28
	Lombrihumus Después	3	7,9233	,22679	,13094	7,3600	8,4867	7,75	8,18
	Total	12	7,2092	,55125	,15913	6,8589	7,5594	6,61	8,18
CE	Compost Antes	3	80,1533	16,83035	9,71701	38,3444	121,9623	61,57	94,37
	Lombrihumus Antes	3	106,3233	20,54101	11,85936	55,2966	157,3500	82,63	119,12
	Compost Después	3	82,7733	16,07329	9,27992	42,8451	122,7016	65,03	96,36
	Lombrihumus Después	3	103,8967	18,28834	10,55878	58,4659	149,3274	83,33	118,33
	Total	12	93,2867	19,75449	5,70263	80,7353	105,8381	61,57	119,12
MO	Compost Antes	3	1,2333	,84855	,48991	-,8746	3,3412	,27	1,87
	Lombrihumus Antes	3	,7433	,17214	,09939	,3157	1,1710	,62	,94
	Compost Después	3	2,1100	,47159	,27227	,9385	3,2815	1,59	2,51
	Lombrihumus Después	3	2,0667	,04041	,02333	1,9663	2,1671	2,02	2,09
	Total	12	1,5383	,73487	,21214	1,0714	2,0052	,27	2,51

Tabla 19 Comparaciones múltiples N-P-K

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Limite inferior	Limite superior
N	Compost Antes	Lombrihumus Antes	,26667	2,66865	,923	-5,8872	6,4206
		Compost Después	-1,36667	2,66865	,622	-7,5206	4,7872
		Lombrihumus Después	-5,56667	2,66865	,070	-11,7206	,5872
	Lombrihumus Antes	Compost Antes	-,26667	2,66865	,923	-6,4206	5,8872
		Compost Después	-1,63333	2,66865	,557	-7,7872	4,5206
		Lombrihumus Después	-5,83333	2,66865	,060	-11,9872	,3206
	Compost Después	Compost Antes	1,36667	2,66865	,622	-4,7872	7,5206
		Lombrihumus Antes	1,63333	2,66865	,557	-4,5206	7,7872
		Lombrihumus Después	-4,20000	2,66865	,154	-10,3539	1,9539
	Lombrihumus Después	Compost Antes	5,56667	2,66865	,070	-,5872	11,7206
		Lombrihumus Antes	5,83333	2,66865	,060	-,3206	11,9872
		Compost Después	4,20000	2,66865	,154	-1,9539	10,3539
P	Compost Antes	Lombrihumus Antes	5,93333	14,05545	,684	-26,4786	38,3452
		Compost Después	-35,80000*	14,05545	,034	-68,2119	-3,3881
		Lombrihumus Después	-32,00000	14,05545	,052	-64,4119	,4119
	Lombrihumus Antes	Compost Antes	-5,93333	14,05545	,684	-38,3452	26,4786
		Compost Después	-41,73333*	14,05545	,018	-74,1452	-9,3214
		Lombrihumus Después	-37,93333*	14,05545	,027	-70,3452	-5,5214
	Compost Después	Compost Antes	35,80000*	14,05545	,034	3,3881	68,2119
		Lombrihumus Antes	41,73333*	14,05545	,018	9,3214	74,1452
		Lombrihumus Después	3,80000	14,05545	,794	-28,6119	36,2119
	Lombrihumus Después	Compost Antes	32,00000	14,05545	,052	-,4119	64,4119
		Lombrihumus Antes	37,93333*	14,05545	,027	5,5214	70,3452
		Compost Después	-3,80000	14,05545	,794	-36,2119	28,6119
K	Compost Antes	Lombrihumus Antes	3,36667	19,99878	,870	-42,7506	49,4839
		Compost Después	-30,23333	19,99878	,169	-76,3506	15,8839
		Lombrihumus Después	-57,36667*	19,99878	,021	-103,4839	-11,2494
	Lombrihumus Antes	Compost Antes	-3,36667	19,99878	,870	-49,4839	42,7506
		Compost Después	-33,60000	19,99878	,131	-79,7173	12,5173
		Lombrihumus Después	-60,73333*	19,99878	,016	-106,8506	-14,6161
	Compost Después	Compost Antes	30,23333	19,99878	,169	-15,8839	76,3506
		Lombrihumus Antes	33,60000	19,99878	,131	-12,5173	79,7173
		Lombrihumus Después	-27,13333	19,99878	,212	-73,2506	18,9839
	Lombrihumus Después	Compost Antes	57,36667*	19,99878	,021	11,2494	103,4839
		Lombrihumus Antes	60,73333*	19,99878	,016	14,6161	106,8506
		Compost Después	27,13333	19,99878	,212	-18,9839	73,2506

* La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Tabla 20 Comparaciones múltiples pH, MO, CE

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
pH	Compost Antes	Lombrihumus Antes	-,39000	,28152	,203	-1,0392	,2592
		Compost Después	-,44333	,28152	,154	-1,0925	,2059
		Lombrihumus Después	-1,23000*	,28152	,002	-1,8792	-,5808
	Lombrihumus Antes	Compost Antes	,39000	,28152	,203	-,2592	1,0392
		Compost Después	-,05333	,28152	,854	-,7025	,5959
		Lombrihumus Después	-,84000*	,28152	,017	-1,4892	-,1908
	Compost Después	Compost Antes	,44333	,28152	,154	-,2059	1,0925
		Lombrihumus Antes	,05333	,28152	,854	-,5959	,7025
		Lombrihumus Después	-,78667*	,28152	,023	-1,4359	-,1375
	Lombrihumus Después	Compost Antes	1,23000*	,28152	,002	,5808	1,8792
		Lombrihumus Antes	,84000*	,28152	,017	,1908	1,4892
		Compost Después	,78667*	,28152	,023	,1375	1,4359
CE	Compost Antes	Lombrihumus Antes	-26,17000	14,70832	,113	-60,0874	7,7474
		Compost Después	-2,62000	14,70832	,863	-36,5374	31,2974
		Lombrihumus Después	-23,74333	14,70832	,145	-57,6608	10,1741
	Lombrihumus Antes	Compost Antes	26,17000	14,70832	,113	-7,7474	60,0874
		Compost Después	23,55000	14,70832	,148	-10,3674	57,4674
		Lombrihumus Después	2,42667	14,70832	,873	-31,4908	36,3441
	Compost Después	Compost Antes	2,62000	14,70832	,863	-31,2974	36,5374
		Lombrihumus Antes	-23,55000	14,70832	,148	-57,4674	10,3674
		Lombrihumus Después	-21,12333	14,70832	,189	-55,0408	12,7941
	Lombrihumus Después	Compost Antes	23,74333	14,70832	,145	-10,1741	57,6608
		Lombrihumus Antes	-2,42667	14,70832	,873	-36,3441	31,4908
		Compost Después	21,12333	14,70832	,189	-12,7941	55,0408
MO	Compost Antes	Lombrihumus Antes	,49000	,40284	,259	-,4390	1,4190
		Compost Después	-,87667	,40284	,061	-1,8056	,0523
		Lombrihumus Después	-,83333	,40284	,072	-1,7623	,0956
	Lombrihumus Antes	Compost Antes	-,49000	,40284	,259	-1,4190	,4390
		Compost Después	-1,36667*	,40284	,009	-2,2956	-,4377
		Lombrihumus Después	-1,32333*	,40284	,011	-2,2523	-,3944
	Compost Después	Compost Antes	,87667	,40284	,061	-,0523	1,8056
		Lombrihumus Antes	1,36667*	,40284	,009	,4377	2,2956
		Lombrihumus Después	,04333	,40284	,917	-,8856	,9723
	Lombrihumus Después	Compost Antes	,83333	,40284	,072	-,0956	1,7623
		Lombrihumus Antes	1,32333*	,40284	,011	,3944	2,2523
		Compost Después	-,04333	,40284	,917	-,9723	,8856

* La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Grafico 2 Porcentaje de N-P-K antes y después de incorporado los abonos (compost y lombrihumus)

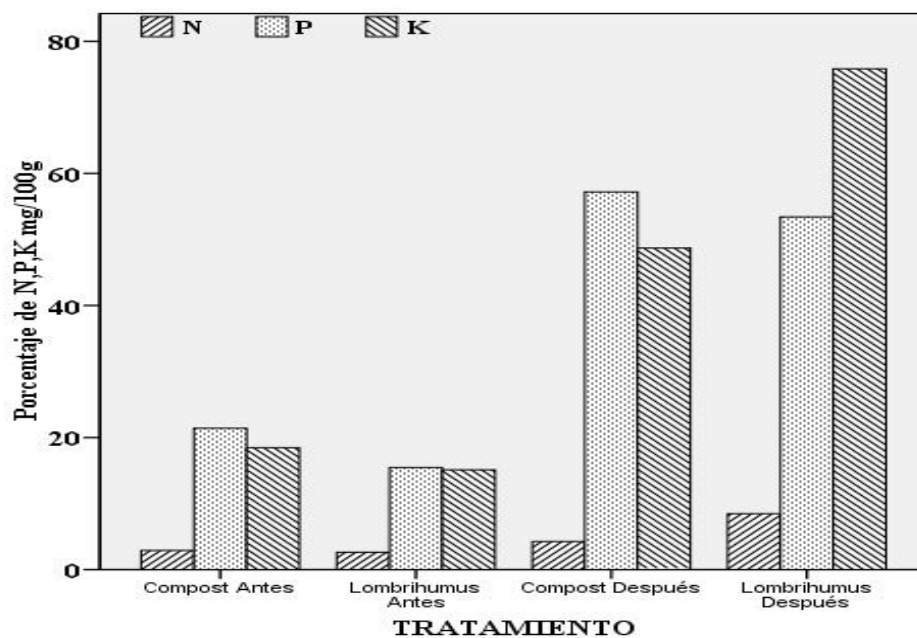
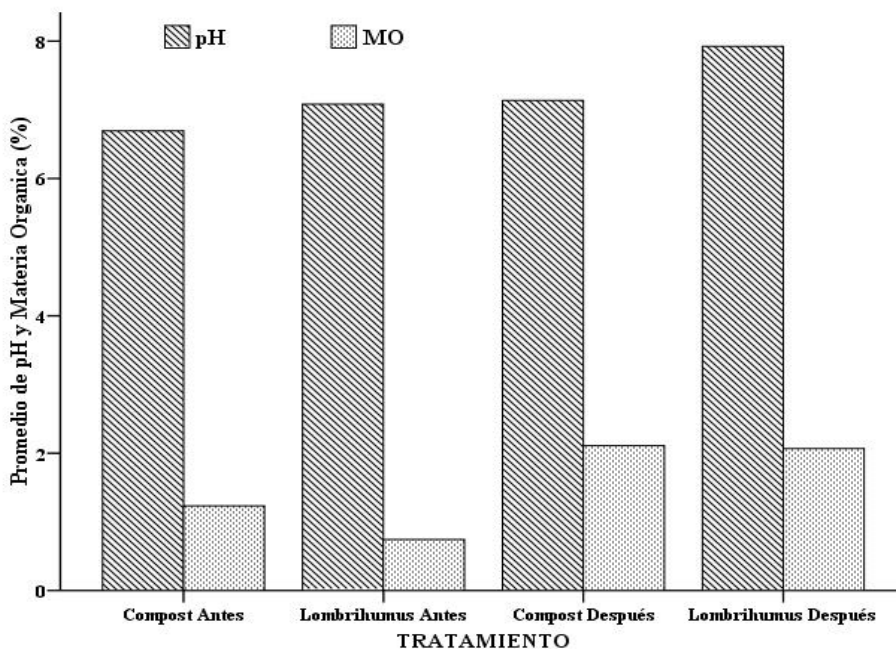
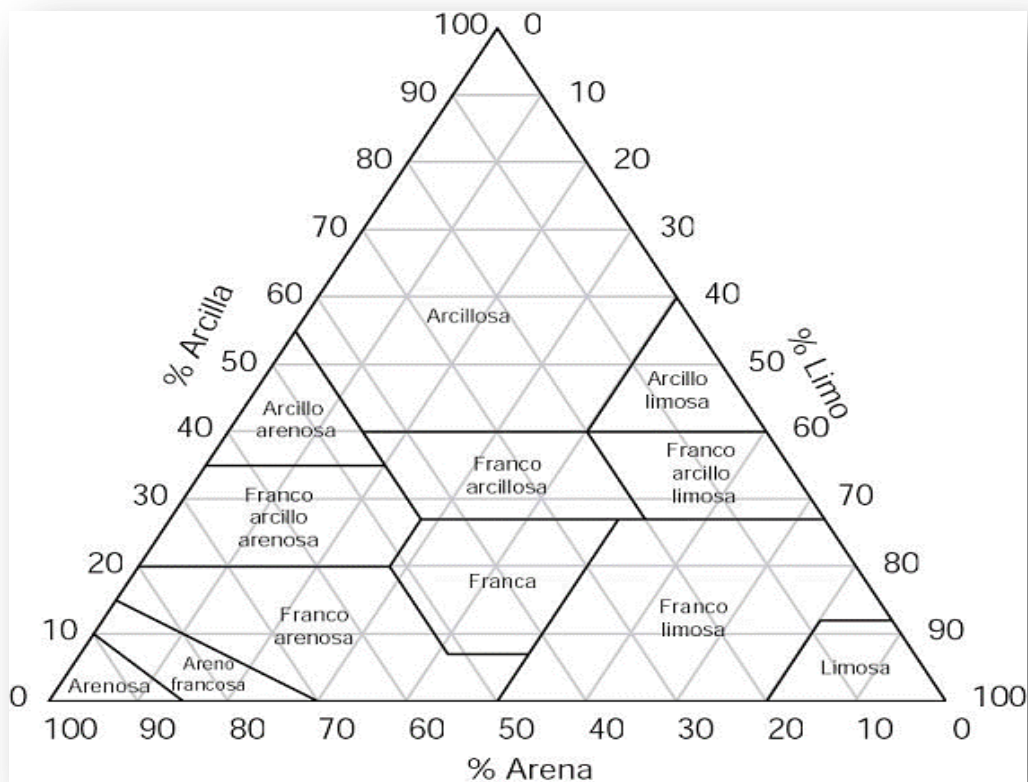


Grafico 3 Promedio pH, CE, y MO antes y después de incorporado los abonos (compost y lombrihumus)



ANEXO 1 Diagrama triangular de las clases de textura, Sistema de Clasificación de Suelos del U.S. Department of Agriculture - USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)



ANEXO 2 Formulas utilizadas para la determinación de la densidad aparente.

Ecuación 6 Porcentaje de humedad.

$$\%H = \frac{pi - pf}{pi} \times 100$$

pi= peso inicial

pf= peso final

Ecuación 7 Peso de suelo seco (Pss).

$$Pss = pt - \%H$$

pt= peso total