

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN – LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

CARRERA DE AGROECOLOGÍA TROPICAL



EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS A TRAVÉS DE DOS PROCESOS DE COMPOSTAJE; LOMBRIHUMUS Y COMPOST EN EL CAMPO AGROPECUARIO DE LA UNAN-LEÓN, MAYO-JULIO 2008.

PRESENTADO POR:

BR. WOLFRAM XAVIER FLORES PAGUAGA

BR. ANTONIO LENIN FONSECA ARGUELLO

“Previo para optar al título de Ingeniero en Agroecología Tropical”

TUTORES:

ING. JORGE LUIS ROSTRÁN MOLINA

ING. MIGUEL GERÓNIMO BÁRCENAS LANZAS

LEÓN, NICARAGUA. SEPTIEMBRE DEL 2009

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y la gracia de finalizar este trabajo y a quien le debo lo que soy.

A mis padres Patricia y César por todo el amor y apoyo que me han brindado en la vida.

A mi novia Reyna Rivas por estar a mi lado en esta alegría que he logrado alcanzar.

A mi hermano César Flores y amigo(a)s que estuvieron conmigo y me apoyaron en este camino.

A nuestros tutores Jorge Rostrán y Miguel Bárcenas por el tiempo, experiencia y conocimiento brindado durante este trabajo.

Wolfram Xavier Flores Paguaga

DEDICATORIA

A mis abuelos...

Gilberto Flores Rocha (q.e.p.d)

Virginia Esquivel Fonseca (q.e.p.d)

Porque sus recuerdos me dieron la fortaleza y motivación para terminar y ver cumplida esta meta.

Wolfram Xavier Flores Paguaga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a ese ser superior que está sobre todas las cosas terrenales y que concebimos de manera particular los seres humanos, por haberme concebido a mis padres y hermanos: "Dios"

Agradezco a mis profesores y maestros, quienes me han tocado convivir durante mi cambio de formación profesional y humana. Pero especialmente a aquellos maestros capaces, honestos con convicción y determinación en la administración de la enseñanza y construcción de valores humanos, los cuales moldean al ser de conciencia social.

Antonio Lenin Fonseca Arguello

DEDICATORIA

A mis abuelos...

Remilio Fonseca (q.e.p.d)

Irma Leytón (q.e.p.d)

*Porque sus recuerdos me dieron la fortaleza y motivación para
terminar y ver cumplida esta meta.*

Antonio Lenin Fonseca Arguello

RESUMEN

El humus es producto de la mineralización y humificación de la materia orgánica, biomasa rica en lignina, celulosa. Su relación C/N, factores abióticos que influye en la actividad microbiana, en los procesos de descomposición, humificación y tiempo de maduración de la materia orgánica, determina la concentración y calidad de las sustancias húmicas contenidas como componentes estructurales representativos en el humus. En esta investigación se evaluaron dos métodos de compostaje: Compost y Lombrihumus, se establecieron 4 tratamientos, T1 Compost Vegetal Seco (material seco y verde, cascarilla de arroz, estiércol bovino), T2 Compost Vegetal Fresco (pseudotallo de plátano, sandía, estiércol bovino), T3 Lombrihumus Estiércol (estiércol bovino) y T4 Lombrihumus Precompostado (precomposta vegetal y estiércol bovino). La determinación de las sustancias húmicas se realizó por el Método de Fraccionamiento de la Materia Orgánica, Kononova (1966). Las variables evaluadas fueron temperatura, pH, N, P, K, Materia Orgánica, CIC, porcentaje de Carbono, porcentaje de ácidos húmicos y costos de producción de ácidos húmicos en ambos métodos. A partir de los resultados obtenidos de las muestras de lombrihumus y compost se concluye que los ácidos húmicos provenientes del compost con 1.75% para el T1 y 1.83 para el T2 fueron inferiores a los determinados en el lombrihumus con 4.33% en el T3 y 4.22 para el T4. El porcentaje de materia orgánica estuvo entre 30-60% para un sustrato con estiércol y un sustrato de estiércol con residuos vegetales donde hay mayor concentración de ácidos húmicos con respecto al método de compostaje. Finalmente entre los métodos de compostaje; Lombrihumus y Compost existe diferencia significativa según el análisis estadístico realizado en SPSS.

ANTECEDENTES

En la primera mitad del siglo XX se estudió el proceso de formación de los ácidos húmicos a partir del Humus donde los estudios revelaron que los ácidos húmicos son un grupo característico y fundamental del humus, que se derivan: 1) de la descomposición de los hidratos de carbono como celulosa, hemicelulosa y almidones, 2) descomposición de la lignina principalmente, 3) de la descomposición de proteínas degradables, y productos orgánicos procedentes de microorganismos y sus productos de degradación: péptidos, aminoácidos, taninos, fenoles y polifenoles. (Howard, 1947).

Trusoy en 1950 estudió el proceso de formación de los ácidos húmicos a partir de la descomposición de restos vegetales gracias a los microorganismos. Kononova (1983) propuso la metodología de extracción y purificación de los ácidos húmicos. Se enfocó en el análisis de los ácidos húmicos ya que representan más del 80% del total de las sustancias húmicas de color marrón, pardo y amarillo que se extraen por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos.

Fassbender (1986) explica que los factores internos y externos que influyen sobre los procesos de mineralización y humificación: tipo de especie, edad, órgano vegetal, propiedades de biomasa vegetal y animal y características del medio en el cual se desarrolla este proceso, es determinante en los tipos y porcentajes de productos resultantes (sustancias húmicas). Stevenson (1994) se han probado muchos compuestos con capacidad para extraer ácidos húmicos, cada uno de dichos compuestos ha demostrado lograr grados variables de eficiencia en el proceso de extracción. Al respecto señaló, los siguientes: Bases Fuertes: el NaOH ha sido el compuesto más usado a través del tiempo y ha resultado muy apropiado para la extracción de sustancias húmicas (SH) con una eficiencia alrededor de un 80%. Sales Neutras: dentro de este grupo destaca el uso del pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) que extrae SH, aún cuando su eficiencia es relativamente baja, aproximadamente un 30%. Quelatos Orgánicos: son varios los agentes quelantes utilizados, sin embargo la 8-Hidroxiquinolina ha sido de los más usados dado que extrae sustancias húmicas con una eficiencia alrededor de 55%.

Desde hace 4 décadas se ha venido haciendo presión extrema sobre la capacidad de reciclaje natural en los suelos del mundo e importantemente en los de Nicaragua, debido a las malas prácticas agrícolas (quemadas de residuos de plantas cultivadas y no cultivadas de árboles etc.), afectando el proceso de reciclaje armonioso de la naturaleza y por lo tanto limitando la generación de vida y fertilidad en los suelos. Como una forma de corregir el daño que está causando el hombre al reciclaje natural, lleva a cabo el reciclaje en condiciones controladas, a través de diferentes métodos como son: lombriz compostaje, compostaje en montón, bocashi, los cuales permiten obtener distintos tipos de humus en un periodo de tiempo menor para reincorporarlo a los suelos donde usualmente son deficitarios. Los métodos de compostaje o reciclaje controlados por el hombre, cuyos productos (humus) son ricos en sustancias húmicas permiten la extracción de estos ácidos húmicos a nivel industrial, pero tiene inconvenientes en el control de proceso de compostaje y en la selección adecuada del materia vegetal utilizada como sustrato, posiblemente afectando los niveles básicos del contenido húmico. Por lo tanto hacen uso exclusivo de materiales de altísimo contenido de ácidos húmicos, como Leonarditas y Turbas. La extracción de ácidos húmicos permite obtener productos orgánicos de un gran contenido nutritivo como fenoles, ácidos orgánicos, aminoácidos, entre otros, tanto para el beneficio de las plantas como para el suelo, efectos positivos sobre el medio ambiente; se reduce la lixiviación de nitrato hacia las aguas subterráneas, se reduce la erosión de suelos y fijan sustancias nocivas inorgánicas y orgánicas, una reducción de las exigencias hídricas en 50% en los suelos arenosos debido a la acumulación de materia orgánica aportada por los ácidos húmicos, retiene el agua de infiltración particularmente. (Humintech, 1995). Fernández, M. (2006) determinó valores medios analíticos de 3 a 7% de ácidos húmicos en el humus de lombriz. Bertoldi, M. y Civilini M. (2006) llevaron a cabo un proceso de compostaje de restos vegetales en 2 reactores separados, el primero solo en la fase termofílica y el segundo solo en la fase mesofílica, para mejorar principalmente la transformación microbiana. En la actualidad una multinacional alemana llamada HUMINTECH es la que realiza la extracción de los ácidos húmicos a nivel industrial, utilizando materiales de alto contenido húmico y buena oxidación como lignito.

ÍNDICE

Resumen	i
Antecedentes	ii
I Introducción	1
II Objetivos	2
III Hipótesis	3
IV Marco Teórico	4
4.1 Sustancias Húmicas	4
4.2 Principales Sustancias Húmicas	4
4.3 Características de las Sustancias Húmicas	4
4.4 Funciones de las Sustancias Húmicas	4
4.5 Origen de las Sustancias Húmicas	5
4.6 Funciones del Humus como Componente del Suelo	6
4.7 Composición del Humus	7
4.8 Métodos de Compostaje	7
4.9 Manejo del Proceso para el Compostaje	8
4.10 Población Microbiana en el Compostaje	12
4.11 Proceso de Producción Lombrihumus o Lombricompost	13
4.12 Técnicas de Producción de Lombricultura	15
4.13 Extracción de Sustancias Húmicas	18
V Materiales y Métodos	20
VI Resultados y Discusión	27
VII Conclusiones	36
VIII Recomendaciones	37
IX Bibliografía	38
X Anexos	41

I.INTRODUCCIÓN

La naturaleza ha sido dotada de un poderoso mecanismo de reciclaje o compostaje, que transforma constantemente la materia viva y ha permitido que la vida en la tierra haya perdurado durante millones de años hasta la actualidad gracias al reciclaje continuo de estos elementos. Hace 250 años se inició el estudio de este proceso de reciclaje natural por parte del hombre, “donde” se analizó y determinó que los productos resultantes del reciclaje tenían lugar a partir de la composición de las plantas, haciendo mención de la capacidad de retención de agua y sustancias nutritivas del suelo y el papel bio-oxidante de la fauna del suelo, dando como producto final Humus (Walerius, 1730).

La investigación científica de los ácidos húmicos y de sus características tiene una gran tradición que empezó con los trabajos del químico Franz Carl Achard, 1753-1786. Realizó el primer aislamiento o extracción de ácidos húmicos y fúlvicos de un material de alta oxidación y sumamente rico en carbón, llamado, leonardita, de alta concentración hasta 85% de ácidos húmicos. Achard, et al, a finales del siglo XVIII intentaron extraer sustancias húmicas a partir de turbas, restos vegetales en descomposición y suelos. En Nicaragua se ha trabajado en la producción de lombrihumus y compost en la UNA, UNAN LEÓN, UCATSE, pero no hay referencias en cuanto a investigaciones en la determinación de ácidos húmicos, por tal razón nos hemos visto motivados para realizar esta investigación. La producción de alimentos, forrajes y fibras siempre afecta los ecosistemas y es ahí donde también la actividad humana trata de balancear los procesos de degradación con procesos de producción.

La investigación pretende determinar los porcentajes de sustancias húmicas (ácidos húmicos) contenidos en los sustratos, a través del método de fraccionamiento de la Materia Orgánica, Kononova (1966) y determinar los *costes* de producción de ácidos húmicos en ambos procesos, que se retomem los datos generados en investigaciones posteriores que aborden el análisis de procesos de producción semi industriales en la determinación de los ácidos húmicos y fúlvicos a través de los procesos de compostaje.

II. OBJETIVOS

General

- ❖ Evaluar el contenido de sustancias húmicas mediante dos procesos de compostaje (Lombrihumus, Compost).

Objetivos Específicos

- ❖ Determinar el efecto de dos procesos de compostaje, Lombrihumus y Compost sobre el contenido de humus.
- ❖ Determinar el porcentaje de ácidos húmicos en los dos procesos de compostaje.
- ❖ Determinar los costos de producción de ácidos húmicos en los dos procesos de compostaje.

III. HIPOTESIS

Hipótesis Nula H_0

No hay diferencias en el contenido de ácidos húmicos entre los diferentes métodos de compostaje; compost y lombrihumus.

Hipótesis Alterna H_a

El contenido de ácido húmico es diferente en al menos uno de los métodos de compostaje.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Sustancias Húmicas

Es el resultado del proceso de degradación y descomposición hasta los componentes elementales de las proteínas, carbohidratos y otros elementos en el proceso de mineralización. Los productos resultantes pueden ser objeto de resíntesis y polimerización dando lugar a nuevos agregados llamados ácidos húmicos.

La composición elemental de las sustancias húmicas: Ácidos fúlvicos; 44–49% carbono, 3.5–5% hidrógeno, 2–4% nitrógeno. Ácidos húmicos; 52–62% carbono y 3.5–5% nitrógeno (Kononova, 1983).

4.2 Principales Sustancias Húmicas

- a) *Huminas*, fracción de las sustancias húmicas que es insoluble en agua o cualquier pH.
- b) *Ácidos Húmicos*, fracción de las sustancias húmicas que es insoluble en ácidos, pero soluble a pH más elevado (ricos en carbono).
- c) *Ácidos Fúlvicos*, fracción que es soluble en cualquier pH (ricos en nitrógeno)

4.3 Características de las Sustancias Húmicas

Las sustancias húmicas se caracterizan por tener una estructura química compleja y amorfa, de carácter ácido, color oscuro y alto peso molecular. Se considera que están formadas por un esqueleto fundamentalmente aromático a base de heterociclos nitrogenados, quinonas, fenoles y ácidos benzoicos con cadenas alifáticas laterales (Landeros, 1993).

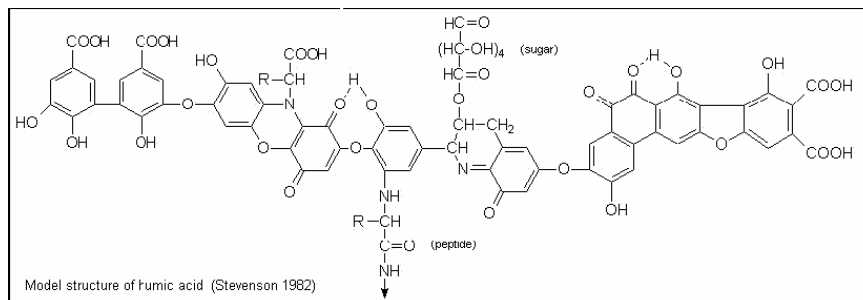
4.4 Funciones de las Sustancias Húmicas

Los compuestos húmicos contienen grupos funcionales ácidos, por lo que intervienen en las reacciones de intercambio catiónico; así pues, la presencia de humus aumenta la capacidad de intercambio catiónico de un suelo o de un sustrato. Las sustancias húmicas interactúan con las arcillas del suelo y estabilizan los agregados del suelo, previniendo la erosión.

Las sustancias húmicas, además, tienen un papel importante en la disponibilidad de micronutrientes para las plantas, puesto que forman complejos con los metales como el hierro, manganeso, cinc y cobre, contribuyendo además a mejorar la absorción por las plantas del fósforo, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio. Los efectos beneficiosos de las sustancias húmicas en el crecimiento vegetal son obvios. Las aplicaciones de sustancias

húmicas a suelos pobres en arcillas y materia orgánica o soluciones nutritivas, producen un mayor crecimiento en las plantas, ello atribuyéndose principalmente a su capacidad de mejorar la absorción de los distintos nutrientes (Landeros, 1993).

Fig.1. Estructura de los Ácidos Húmicos



Tomado de Stevenson 1982.

4.5 Origen de las Sustancias Húmicas

4.5.1 La Materia Orgánica

Sabemos que la fracción orgánica del suelo está compuesta por diferentes organismos vivos y sus restos descompuestos, los parcialmente descompuestos y también los que se logran descomponer de forma completa. Podemos decir entonces que la materia orgánica se refiere específicamente a los componentes vivos del suelo, que son una mezcla heterogénea compuesta de un gran número de productos que se obtienen de las importantes y diversas transformaciones químicas y biológicas de los desechos orgánicos.

La materia orgánica es de vital importancia ya que mejora la absorción del agua, el contenido de aire, disminuye el escurrimiento superficial, facilita el laboreo y desarrollo radicular. También por medio de ella se puede aumentar la capacidad de intercambio catiónico y la resistencia de los suelos a los cambios de pH. Consideramos a la materia orgánica importante en las transformaciones que realizan los organismos del suelo.

Estas transformaciones son conocidas en conjunto como “proceso de humificación” que da origen a la formación del humus, una mezcla de sustancias que posee resistencia al ataque de microorganismos (Primavesi, 1986). La materia orgánica se puede clasificar en 2 grupos:

Materia orgánica fresca o lábil, formada por residuos orgánicos pocos transformados, que pueden separarse del suelo por medios mecánicos.

Materia orgánica transformada o estable, formada por productos resultantes de una descomposición avanzada de los residuos orgánicos y de síntesis microbiana. Incluye 2 subgrupos: sustancias no húmicas y sustancias húmicas.

4.5.2 Humus

La determinación de la cantidad total de humus en el suelo, no se ha podido determinar debido a que no hay un medio directo para lograr separar todo el humus de la parte mineral del suelo. La cantidad total de humus depende de la cantidad de carbono en el suelo.

Si suponemos que el promedio de carbono en el humus es de 58%, la cantidad total del mismo en el suelo se puede calcular multiplicando el por ciento del contenido de carbono en el suelo por el coeficiente 1.724. El coeficiente da una idea aproximada del total de humus (Fuentes 1999).

El humus es el estado, más o menos final en el proceso de degradación y transformación de los restos vegetales y animales presentes en el suelo. El humus juega un papel importante, ya que es un factor primordial para el buen desarrollo de las plantas superiores.

La denominación de humus se aplica cuando se ve amorfo, es decir, cuando ha perdido la estructura orgánica microscópica original. Su composición química es variable, dependiendo del ecosistema y de su actividad.

Los ácidos húmicos son compuestos que intervienen en la composición del humus, sustancias orgánicas en diversos estados de descomposición: aminas, productos orgánicos de degradación de hongos y bacterias, más productos de secreción y excreción de las mismas; proteínas y sus productos de degradación: péptidos y aminoácidos; taninos y sus productos de degradación: polifenoles y fenoles; ácidos orgánicos diversos; enzimas; fitohormonas; clorofila, carotenos y derivados. Todo lo citado, constituye el humus.

El humus no lo podemos identificar del material vegetal o animal del que procede, no contiene productos orgánicos como azúcar, fibras, celulosa, lignina, proteína, etc. y no se halla en los organismos vivos y no puede descomponerse más (McCarthy, 2001).

También tenemos que el humus posee numerosas características físico-químicas que provocan efectos positivos tanto al suelo como a la planta, alguno de ellos son: mejorar la estructura del suelo, mejorar la retención de humedad, facilita la absorción de nutrientes por

parte de la planta y estimular el desarrollo de estas (Tisdale y Nelson, 1966, Guerrero, 1996).

4.6 Funciones del Humus como Componente del Suelo

Función Nutricional, al sufrir el proceso de la mineralización sirve como fuente de nitrógeno y azufre.

Función Física, promueve una mejora de la **estructura del suelo**, estabilizándola, incrementando la permeabilidad, facilitando el intercambio de gases y mejorando significativamente la retención de la humedad.

Función Química

- a) mediante su poder tampón, ayuda a mantener una reacción (pH) uniforme en el suelo.
- b) mediante su poder quelante mejora la disponibilidad de micronutrientes para las plantas superiores
- c) debido a la fuerte acidez orgánica de alguna de sus fracciones incrementa notablemente la capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- d) debido a las interacciones entre moléculas orgánicas, afecta la bioactividad, la persistencia y la biodegradabilidad de los pesticidas, modificando la cantidad de los mismos necesaria para un control más efectivo (Tisdale y Nelson, 1966, Guerrero, 1996).

4.7 Composición del Humus

El humus está formado por una gran cantidad de distintos constituyentes, muchos de los cuales están presentes en los tejidos biológicos de los que derivan. En su composición pueden separarse en dos grandes grupos de sustancias:

Sustancias no Húmicas: Fundamentalmente aminoácidos, carbohidratos y lípido (de bajo peso molecular).

Sustancias Húmicas: Conjunto de sustancias de alto peso molecular, de color oscuro, formadas por reacciones secundarias de re síntesis en las que intervienen algunos de los productos de descomposición.

Es importante mencionar que ambos grupos no son fáciles de separar, ya que algunas de las sustancias no húmicas son absorbidas por las sustancias húmicas; o incluso pueden estar unidas a estas por enlaces covalentes, esto último es más frecuente en el caso de los carbohidratos (Fernández, 2003).

4.8 Métodos de Compostaje

4.8.1 Compostaje

El término compost deriva del latín *compositus* y su significado sería «poner junto». Para hacer compost mezclamos varios materiales que permiten iniciar un proceso de descomposición de la materia orgánica que posteriormente dará lugar a un material más o menos estable parecido al humus del suelo y que es un elemento clave para la fertilidad de la tierra. Los términos compost, compostaje o compostar, han pasado a ser habituales en nuestro lenguaje y abrevian con precisión el concepto de materia orgánica descompuesta.

4.8.2 Tipos de Compostaje.

Compost: Este tipo de compost se puede considerar como la mezcla de restos vegetales y animales con el propósito de acelerar el proceso de descomposición natural de los desechos orgánicos por una diversidad de microorganismos, en un medio húmedo, caliente que da como resultado final un material con calidad fertilizante (Fuentes, 1999).

Lombri humus: El Lombrihumus es un tipo de abono que se origina de la asimilación de la materia orgánica por parte de algún tipo de lombriz. La producción de este tipo de abono es un poco más compleja en el sentido del cuidado y el trabajo que implica la crianza de estos animales. Para la producción de compost tanto en el ámbito doméstico, artesanal o industrial se ha generalizado el uso de la lombriz denominada Californiana la cual, entre varias otras especies, es la que presenta mejores características tanto de asimilación de la materia orgánica como de producción de compost (Bollo, 1999).

Bocashi: El bocashi es un tipo de abono orgánico fermentado, que requiere la mezcla de otros componentes que favorezcan la descomposición de la materia orgánica y a su vez el enriquecimiento del producto final (Restrepo, 2007).

4.9 Manejo del proceso de compostaje o compost.

El proceso de compostaje está influenciado por las características del sustrato y por los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos. La calidad de un compost es usualmente determinado por parámetros químicos los cuales dan una determinación exacta

de cada sustancia y los parámetros biológicos los cuales permiten evaluar la estabilidad del producto final (Soto, 2003).

Cuadro 1. Condiciones ideales para el compostaje

Condición	Rango aceptable	Condición óptima
Relación C/N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 – 65%	50- 60%
Oxígeno	+5%	8%
pH	5.5- 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura	°C 55 – 75	65 – 70 °C

Tomado de fuentes, 1999.

4.9.1 Factores a controlar para un buen proceso de compostaje.

1) Las Materias primas

Los materiales que se pueden utilizar son: **Fuente de materia carbonada (Rica en celulosa, lignina y azúcares)** aserrín de madera, hojas verdes, forrajes de animales, desechos de maíz, malezas secas, restos de cereales como arroz, trigo, cebada.

Fuentes de materia nitrogenada (rica en nitrógeno). Estiércoles de vaca, cerdo, oveja, cabra, caballo, conejo y aves como pollo de engorde, gallina ponedora.

Fuente de materia mineral. Cal agrícola, roca fosfórica, ceniza vegetal, tierra común y agua.

2) Temperatura Es el parámetro que indica el desarrollo del proceso. Con respecto a la temperatura hay 4 etapas: *Etapa mesofílica (15 – 40°C)* Al comenzar el proceso, la masa es atacada por microorganismos mesófilos (fundamentalmente bacterias y algunos hongos). Éstos atacan el material orgánico más simple (azúcares solubles, ácidos orgánicos, grasas, proteínas etc.), hasta que la temperatura de la masa alcanza los 40°C. Las bacterias se acostumbran al nuevo medio y comienzan a experimentar crecimientos exponenciales para dar lugar a una masa de microorganismos que puedan iniciar la transformación de toda esta materia orgánica. Esta etapa puede durar entre 4 y 8 días. *Etapa termofílica (40-70°C).* Necesaria para matar patógenos para animales y plantas, malas semillas, etc. A partir de los 40°C comienza la actividad de los microorganismos termófilos (hongos, bacterias...) y comienzan a aparecer actinomicetos. Éstos atacan estructuras más complejas (almidones, pectinas, celulosas y finalmente ligninas aunque escasamente) (Fuentes, 1999). Esos primeros microorganismos o cepas bacterianas que iniciaron el proceso de descomposición deben ser sustituidos por otros que profundicen y continúen con el mismo. Concretamente,

los primeros son sustituidos precisamente por otros que puedan desarrollar sus ciclos biológicos en presencia de temperaturas altas (entre 50 y 75°C). Durante esta fase además, se dan una serie de cuestiones necesarias como que, gracias a estas altas temperaturas los posibles patógenos existentes en la mezcla desaparezcan o sean reducidos al máximo. Además, las semillas de malas hierbas son destruidas puesto que, en la mayor parte de los casos, dichos embriones no pueden soportar las mencionadas temperaturas. Esta es la fase más prolongada en el tiempo, puede durar, dependiendo de los sistemas, desde 2 semanas a varios meses (2 a 3) y también es la etapa que mayor y mejor control de la pila requiere. A partir de 7°C decrece la actividad microbiana por lo que se produce un enfriamiento de la masa. *Etapa de enfriamiento* en este momento todavía no ha finalizado el proceso abunda su contenido en lignina y por todo ello se denomina **compost joven**. *Maduración de la masa*: la maduración según las condiciones climáticas y la frecuencia de cambio de sitio, entre 15 a 30 días. En el cual el componente más indigestible de la fibra, la lignina, es modificada mediante reacciones secundarias complejas (de condensación y polimerización), dando lugar a moléculas orgánicas menos biodegradables o más estables. A partir de los componentes orgánicos dejados por la anterior fase, ahora se generan coloides húmicos, hormonas, vitaminas, antibióticos y otros elementos que favorecerán considerablemente el desarrollo y crecimiento vegetal. En esta fase se producen fenómenos de humificación y mineralización. El mayor problema es definir cuando se da por finalizado el proceso, pudiéndose categorizar la madurez desde un sentido: Biológico: Cuando ya no presenta sustancias fitotóxicas para las plantas. Se utilizan ensayos de germinación para su determinación.

Químico: Además de no ser fitotóxico debe de estar suficientemente estabilizado. Parámetros para su cuantificación: Relación C/N, CIC (capacidad de intercambio catiónico), Incremento del N nítrico/N amoniacal, grado de descomposición de la materia orgánica, el color, pH etc.

En función de estos parámetros se puede hablar de: **Compost fresco**: Aquel que ha finalizado la fase termófila, habiéndose eliminado los patógenos. Se ha producido descomposición de la materia pero no humificación. **Compost**: Ha experimentado una fase de maduración. **Compost curado**: Tras un periodo prolongado de humificación y

mineralización, el producto está altamente estabilizado. Puede utilizarse para cualquier uso agronómico, incluso como sustrato.

3) Aireación (oxígeno)

Para un óptimo desarrollo de los microorganismos se requiere un 40-60% de aireación. El contenido de O₂ en las zonas internas del material no debe bajar nunca del 10%. A medida que aumenta la temperatura de la pila, aumenta el consumo de oxígeno. (Restrepo, 2007)

4) Humedad

El contenido de humedad ideal para el proceso está en el rango de 45–60%. Si la humedad es muy elevada, >60%, la aireación disminuye y el proceso pasa a ser anaerobio generando malos olores, Si la humedad es <40%, descenso en la actividad microbiológica (Fuentes, 1999).

5) pH

La mayor actividad bacteriana se produce a pH casi neutro (6 -7.5), mientras que los hongos se desarrollan mejor en medios ligeramente ácidos (4-5.5). El rango ideal debe ser: 5.8-7.2. Generalmente el pH decrece al principio por la producción de ácidos orgánicos de cadena corta y lentamente va incrementándose posteriormente, debido a la degradación de las proteínas y la liberación del amoníaco de los aminoácidos (Sztern y Pravia, 1996).

6) Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación carbono nitrógeno, es un factor importante dentro del proceso, por la necesidad de carbono por parte de los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno es un factor importante como elemento básico en la formación de proteínas y otros constituyentes del protoplasma celular. Según (Restrepo, 2007), Una relación C/N 25–35 es la óptima para el inicio del proceso (es decir, entre 25 y 35 partes de carbono por una de nitrógeno), hasta obtener valores comprendidos entre 10-15 al final del proceso. Valores superiores en C/N disminuyen la actividad microbiológica, porque el material a compostar es poco biodegradable presentando mayor demora del proceso. Para los valores bajos esta relación no afecta el proceso, pero si la conservación de los nutrientes debido al poco carbono disponible para los microorganismos, incrementándose las pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco por la falta de estructuras de carbono que permiten retener el nitrógeno. Valores de 20 o menos cuando los valores iniciales fueron de 30 o más, se consideran Aceptables en el compost y pueden interpretarse como indicadores de suficiente

estabilidad. La relación ideal de C/N esta alrededor de 10, sin embargo, la disponibilidad del C en esta relación depende del tipo de compuesto en que predomine el carbono, como lignina, polisacáridos, lo cual determina la resistencia a la descomposición y por lo tanto la disponibilidad de nitrógeno.

Se puede calcular el cociente C/N a partir de los datos conocidos de cada material, También hay calculadoras virtuales que facilitan esta operación. En general, todas las plantas tienen más carbono que nitrógeno. Los materiales ricos en nitrógeno, que se caracterizan por tener un cociente de C/N bajo (inferior a 30/1), se les conoce también como «verdes», aunque no todos tengan este color, y son los que más rápidamente se descomponen. Los materiales como la paja, las ramas trozadas, el papel o el aserrín, que tienen más carbono que nitrógeno, es decir, que tienen un cociente de C/N alto (mayor de 30/1) son más lentos en su descomposición, con lo cual generan menos energía y difícilmente alcanzan altas temperaturas, a menos que estén combinados con una fuente de nitrógeno. Por eso hemos de procurar que un montón para compostar sea una buena mezcla de materiales complementarios. La lignina (material típico en las ramas secas o las serraduras) puede retrasar la descomposición, pero como más elevada es la proporción de lignina más cantidad de humus se obtiene. Por otro lado, hay que recordar que el material que no se ha compostado del todo en el proceso se puede utilizar en el siguiente compostera. (Worthen y Aldrich, 1968).

7) Volteo

El volteo tiene como objetivos principales; el abastecimiento a los microorganismos con oxígeno y la homogenización para garantizar condiciones uniformes en todo el material. El volteo se inicia cuando comienza el proceso termofílico (3-4 semanas de elaborada la pila), y se debe revolver 1 ó 2 veces por semana. Una pila de compostaje está constituida por tres zonas diferentes: *Zona periférica*, *Zona intermedia (de intensa actividad microbiana)* y *Zona Núcleo*. (Atlas, R; Bartha, R. 2002).

8) Tamaño de las partículas

Las partículas pequeñas tienen más superficie donde los microbios pueden vivir y comer. También son más fáciles de mezclar. El moler, cortar o desmenuzar las materias primas reduce el tamaño de las partículas. La compostación rápida exige partículas con un tamaño más o menos uniforme de entre 20 a 10 mm de diámetro.

9) Tamaño de la pila o montón

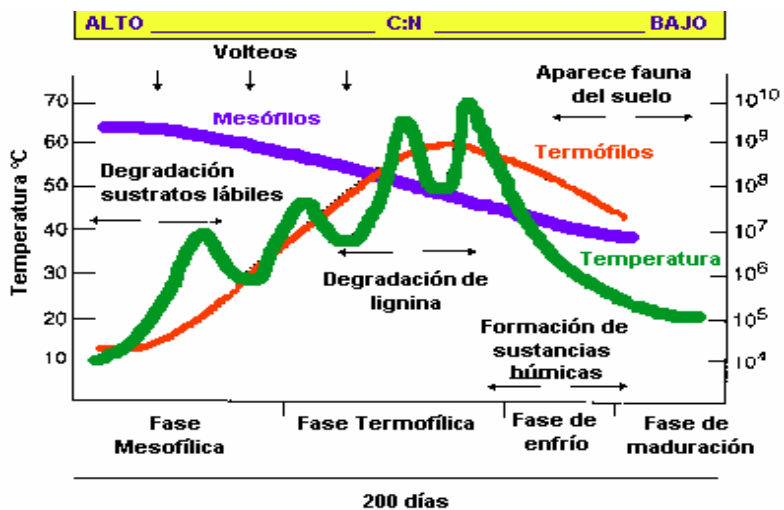
El tamaño de la pila afecta el contenido de oxígeno y temperatura. Pilas pequeñas mantienen mayor concentración de oxígeno que pilas grandes. Pilas grandes mantienen mayor temperatura que pilas pequeñas. El tamaño óptimo es 1 a 1.5m³ (INTA-FAO, 2002).

4.10 Población microbiana en el compostaje

Los criófilos son los primeros a ir a trabajar. Pueden trabajar en temperaturas debajo de grado Celsius (tan bajo como -18°C), pero son muy activos alrededor de 13°C. Frecuentemente generan calor suficiente para crear condiciones óptimas para el próximo grupo de bacterias llamado mesófilos. Esta es la gama de bacterias que operan en temperaturas entre 15°C y 40°C. El calor generado como un subproducto del trabajo de las mesófilas aumentará la temperatura en la pila o monto aún más, creando condiciones apropiadas para el compostaje termofílico.

Ellos comienzan a asumir la dirección cuando las temperaturas alcanzan 40 a 45°C y continúan trabajando hasta los 70°C, cuando comienzan a declinar. Las termofílicas trabajan rápidamente y no viven mucho tiempo, de tres a cinco días a la mayoría. Remover la pila proveerá oxígeno y permite a las bacterias termofílicas continuar su actividad. Cuando las temperaturas bajan y mueren, reaparecen los otros grupos. Los actinomicetos son una forma parecida a hongos y siguen en número a las bacterias. Asumen la dirección durante las etapas finales de descomposición y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben crecimiento bacteriológico (Sánchez, 1981).

Fig. 2. El proceso de compostaje.



Tomado de Paul y Clark, 1996.

**Cuadro 2. Composición química del Compost de origen de residuos agrícolas.
(Fuentes, 1999).**

pH	7,8-8
Nitrógeno	1,5-1,8%
Fósforo	0,8-1%
Potasio	0,5-1%
Materia orgánica	10-15%
Carbono orgánico	7-10%
Acido húmico	2-4%
Acido fúlvicos	1,8-4,8%
Relación C/N	16-20%
C.I.C.	25- 50 meg/100gr

4.11 Proceso de Producción Lombrhumus o Lombricompost.

4.11.1 Taxonomía de la lombriz

Reino	Animal.
Tipo	Anélido.
Clase	Oligoqueta.
Familia	Lumbricidae.
Género	Lombricus, Eisenia, Eudrillus
Especies	terrestres (de tierra común) foétida (Californiana) Eugenie (Africana).

4.11.2 Características principales de *Eisenia foétida* (roja californiana)

Es de color rojo oscuro, respira por medio de su piel, mide de 6 a 8 cm de largo, de 3 a 5 milímetros de diámetro y pesa aproximadamente 1 gramo, no soporta la luz solar, una lombriz expuesta a los rayos del sol muere en unos pocos minutos, ingieren diariamente el 100% de su peso en materia orgánica en descomposición y del cual el 60% es excretado abono orgánico y el 40% es asimilado y se convierte en biomasa de lombriz. Una lombriz es 80% agua y 20% materia seca; posee el 65% de proteína. Las lombrices son hermafroditas, se aparean para intercambiar sus gametos; después de la cúpula 3 a 5 días ponen los cocones o huevos, estos eclosionan a los 12 ó 14 días dependiendo de las

condiciones presente en sitio (temperatura, humedad), de un cocón pueden nacer de 2 a 21 lombrices dependiendo de la calidad nutritiva del alimento (Ferruzzi, 2001).

Cuadro 3. Condiciones para el establecimiento de la lombriz *Eisenia foétida*

Condición	Rango	Optimo
Oxígeno (%)		> 8%
Temperatura °C	20 – 33	25 – 28
pH	5.5 – 9.0	6.8 – 7.2
Humedad (%)	65 – 80	70 – 75

Tomado de Fuentes, 1999.

Cuadro 4. Comparación química del humus de lombriz de diferentes materiales orgánicos.

%	A	B	C	D
HUMEDAD	38	36	47	53
CENIZAS	67	76	43	45
M. ORGÁNICA	33	24	57	55
C. ORGÁNICO	14	16	22	22
N	1.3	1.1	2.4	2.3
P	0.7	0.4	1	0.9
K	1.1	0.9	1.2	1.4
Ca	14.6	11.5	9.2	10.4
Mg	1	0.6	0.9	1
Na	0.6	1	0.3	0.4
pH	7.5	7.8	7.4	7.7
C/N	10.76	17.54	9.16	9.56
(ppm)				
Fe	39450	12850	6070	521
Mn	340	665	430	405
Cu	265	430	235	490
Zn	160	75	65	115
B	11	11	26	21
Cd	3	3	2	2
Ni	27	25	17	30
Cr	333	501	147	290
Pb	71	193	31	99
Co	13	10	8	9

A. Mezcla de estiércol de diferentes animales, B. Desechos municipales, C. Estiércol de vaca, D. Lodos activados. Fuente: Hervas *et al.*, 1989 citados por Irisson, 1985.

4.12 Técnicas de producción de Lombricultura

Formación de las canoas de reproducción: Las canoas son el área destinada para incrementar las lombrices y producción de humus. La selección de lugar debe tener las siguientes condiciones:

Tener árboles que siempre tenga hojas y que al menos garanticen un 50 o 60% de sombra, con especies como, genízaro, tamarindo, tempisque, mango, guapinol, etc.

De preferencia ubicarlo en lugar cercano a la casa para facilitar el riego, el acceso al agua y la alimentación.

Las Canoas de madera deben tener las siguientes dimensiones: 0.5 a 1 metro cuadrado, con altura de 25 a 50 cm. En la canoa la alimentación se realiza de la siguiente forma: en el piso de la cama se coloca una capa de pasto de 5 cm, sobre el cual se agrega sustrato con un espesor de 10 cm sobre todo el piso de la canoa o cama, posteriormente se agrega 1 kg de lombrices que son 1200 a 1300 lombrices aproximadamente, en esta población tienen que ir adultas y jóvenes. Una vez hecha la inoculación se procede a tapar la cama o canoa con pasto con espesor de 10 cm y se riega con agua cuidadosamente (manteniendo humedad entre 75 y 85%). Ya realizada la inoculación, las lombrices penetran inmediatamente al sustrato y se distribuyen en todo el alimento en pocas horas y comienzan alimentarse y reproducirse (Rivera y Castellón, 2000).

Etapas de la producción

Condiciones para Establecer un Pie de Cría de Lombrices.

En lugares sombreados y tenga una fuente cercana de agua, en zonas con topografía plana (hacer desnivel para permitir el drenaje de exceso de agua), disponer de una fuente de alimentación constante (estiércol de vaca, cerdo, caballo, cáscara de maní, pulpa de café, etc.). Inspeccionar el lugar en busca de focos o troneras de hormigas y que esté protegido de animales domésticos, protegerlos de los enemigos naturales (depredadores) como hormigas, sapos, zorros, serpiente, pájaros, gallinas, cerdos.

1) Establecimiento del pie de cría: Consiste en establecer en un metro cuadrado un kilo de lombrices, que es la cantidad mínima con que se debe iniciar la producción, que son aproximadamente 1200 a 1300 lombrices. Se construye una canoa o cantero para el establecimiento del pie de cría, Se prepara una cama de estiércol seco y/o tierra y se agrega agua hasta alcanzar un 80–85% de humedad. Se coloca la cama con un espesor de 5 a 10

cm. Esta cama se hace con el propósito de brindarle un ambiente primario adecuado a las lombrices y que no sufran estrés, subsiguientemente se colocan las lombrices sobre la cama. Pasado dos o tres días se comienza la alimentación de las lombrices.

2) Manejo de las lombrices

Condiciones para el manejo de Lombrices

La humedad requerida es de 75% a 85% tanto de la comida como del lecho de las lombrices. El pH debe de estar de 6-8 y la temperatura de 20°C a 25°C.

Para proteger las canoas del ataque de hormigas, se recomienda colocar zancos de 20 pulgadas de altura y se pintan con aceite negro o cualquier material de protección. Con el riego adecuado las hormigas penetran menos en las canoas, ya que el sustrato se impermeabiliza un poco y disminuye su ataque (Rostrán, 2006).

Forma de Alimentación de Lombrices.

Existe una amplia gama de alimento para las lombrices, porque ellas consumen cualquier material orgánico, pero son tres formas comunes de hacerlo:

Con estiércol fresco: En este caso se prepara el alimento agregando agua hasta que la mezcla de estiércol con agua tenga una consistencia de atol. Seguido de esta actividad se le agrega al lecho el estiércol en capas con un espesor de 2 a 4 cm, se debe procurar hacer la capa lo más homogénea posible.

Con estiércol seco y/o prefermentado: En estos casos se prepara el alimento al igual que el caso anterior o bien se deja el estiércol con una humedad del 85%. El estiércol prefermentado puede tener un fermentación de 8 a 15 días, el que torna de un color café verdoso. Una vez preparado el alimento se vierte en lecho de las lombrices hasta tener un espesor de 8 a 10 cm.

Mezcla de estiércol con desperdicios vegetales: Se mezclan los residuos vegetales con estiércol en proporciones de 1:1, se le agrega agua hasta obtener un 80 o 90% de humedad, esta se deja fermentando por un periodo de 12 a 15 días, volteándola o revolviendo día de por medio (siempre agregar agua). Después de este periodo de fermentación el alimento debe tener un pH de 6 a 8 y una temperatura ambiente. Para alimentar a las lombrices se agrega la mezcla en capas de espesor de unos 3 a 5 cm. (Rostrán, 2004-2005).

Preparación del alimento: Al estiércol fresco se le agrega agua hasta obtener una mezcla menos densa (pesada). La cantidad de alimento a suministrar estará de acuerdo a la

cantidad de lombrices sembradas en el lugar por ejemplo si se siembran 1 kg de lombrices se suministrara 1 Kg de comida, si el alimento está ácido, las lombrices no comen, pero esto se soluciona agregando cal disuelta en agua y por el contrario si está básico se le agrega papel periódico remojado. El alimento deberá de tener suficiente humedad (80–85 %). Se aplica sobre las canoas o canteros una capa de alimento de 2 cm de espesor. Se debe procurar que la capa sea lo más homogéneo posible. Las canoas o canteros se tapan con cualquier material, que permita la entrada del aire a las lombrices, pero no de los enemigos de ella (pájaros, hormigas, gallinas, etc.).

Se debe de dar alimento cada 3–4 días, en los días, que no se aplica alimento deberá de regarse los canteros para mantener la humedad del sustrato.

3) Cosecha.

Para determinar el tiempo de cosecha se introduce una palma de la mano y se debe sacar de 40 a 50 lombrices/puñada.

La cosecha se realiza intervalos de 2 a 3 meses con el propósito de tener 3 generaciones de lombrices, mantener el pie de cría e incrementar la producción de lombrices y lombriabono. Debe evitarse el exceso de población en una canoa sobre todo en condiciones de clima cálido con altas temperaturas, ya que altas poblaciones generan más calor en el ambiente limitando el desarrollo y muerte de las lombrices (Rostrán, 2006).

Para extraer las lombrices se coloca en el centro del cantero o canoa un lomo de estiércol (alimento), antes debe esperarse que las lombrices hayan agotado todo el alimento del recipiente. Procedimiento: antes de cosechar se deja sin alimentación a las lombrices por un periodo de 4 a 6 días, de modo que sientan hambre. Esto permitirá que invada rápidamente el nuevo alimento. Luego se coloca una trampa, ubicando en el centro del lecho de lombrices una capa de alimento de unos 8 a 12 cm (solo en el centro). Al cabo de 3 a 4 días, las lombrices han colonizado el alimento. Se retira el alimento colocado, el cual estará cargado de lombrices y esto se traslada a un segundo cantero o canoa. Este proceso se debe de efectuar de 2 a 3 veces para garantizar extraer el 90 a 95% de las lombrices (Martínez, 1996).

Cuadro 5 Contenido de ácidos húmicos en lombrihumus proveniente de diferentes sustratos utilizando *Eisenia foetida*.

DESECHO ORGÁNICO	% PESO SECO
Mezcla de estiércol de diferentes animales	6
Desechos municipales	3.6
Estiércol de vaca	17.2
Lodos activados	13
Estiércol animal (sin especificación)	5
Desconocido	5.4

Fuente: Hervas *et al.*, 1989, citados por Irisson, 1995

4.13 Extracción de las Sustancias Húmicas

Existen una gran variedad de técnicas, que dependen del extractante y del material a extraer. Los requisitos de un método de extracción ideal son:

- Conseguir extraer las sustancias húmicas sin alterarlas.
- Que las sustancias húmicas extraídas no contengan contaminantes inorgánicos tales como arcilla y cationes polivalentes.
- La extracción debe ser completa, siendo representativa de todas las fracciones de distinto peso molecular.
- El método debe ser aplicable a todos los suelos o sustratos orgánicos

Es importante mencionar que no existe ningún extractante que cumpla todos estos requisitos.

Para la extracción de sustancias húmicas, de cualquier material orgánico humificado y/o suelos, se emplean métodos denominados no degradativos y degradativos. Por su facilidad el más empleado (aunque es degradativo) es por vía química, el cual consiste en el uso de hidróxido de sodio (NaOH) a concentraciones de 0.1, 0.5 y 1.0 N en solución acuosa, garantiza un 80% de extracción (Senesi, 1994; Sorge *et al.*, 1994; Amalfitano *et al.*, 1995; Schnitzer, 1978, 1991, 2000). Aunque también han sido probadas algunas sales neutras y ácidos orgánicos, como el pirofosfato de sodio a 0.1 N (normal) y 0.1 M (molar) e hidróxido de potasio al 0.1 y/o 0.5 N que garantizan entre un 30 y 55% de extracción (Piccolo, 1989). Si bien la extracción con bases fuertes, es la más efectiva, presenta algunos problemas en la alteración de las sustancias húmicas, cuanto más concentrada es la base y cuanto mayor es el tiempo de contacto. Las rupturas de las sustancias húmicas bajo condiciones alcalinas es mayor en presencia de oxígeno, para minimizar dichos cambios

debidos a procesos de autooxidación, toda la extracción debe hacerse en atmósfera ambiental.

En la actualidad se ha intentado establecer un método estándar para la extracción, para ello se ha propuesto seguir el método tradicional, basado en la extracción con agentes alcalinos, y posterior fraccionamiento del extracto obtenido de acuerdo a la solubilidad diferencial de cada una de las fracciones estables en ácidos y álcalis. La modificación fundamental consiste en usar como extractante una mezcla 50:50 de una base fuerte, usualmente el NaOH 0,1 M, con una sal neutra, usualmente $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0.1 M, proceso que logra eficiencias por encima del 70%. Luego se continúa la separación de las fracciones por acidificación y centrifugación, esto puede ser resumido de la siguiente manera: se toma una cantidad definida de sustrato y se le agrega la mezcla de extractante en una proporción 1:10, se coloca en atmósfera de nitrógeno y se deja en agitación por 24 horas. La cantidad de suelo a utilizar dependerá del contenido de carbono orgánico del mismo, así como del tipo de estudio que se lleva adelante.

Se separa por centrifugación el extracto alcalino (contiene los ácidos húmicos, los fúlvicos y las sustancias no húmicas) del suelo residual en el cual quedan adheridas las sustancias orgánicas de mayor recalcitancia química.

Se acidifica el extracto alcalino (a pH entre 1 y 2) y se deja en reposo por veinticuatro horas.

Concluido este periodo se separa, por centrifugación, el floculado (ácidos húmicos) del sobrenadante (ácidos fúlvicos mas sustancias no húmicas).

Los ácidos húmicos son entonces purificados por uso de membranas de diálisis con un corte de peso molecular apropiado, usualmente 5.000 unidades Dalton.

MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del Experimento

La presente investigación se realizó en el Campus Agropecuario de la UNAN-León, situado a 1.5 Km al sureste de la ciudad de León en el camino hacia la Ceiba, en el área de investigación y producción de abonos orgánicos.

5.2 Descripción del Área de Estudio

La zona presentó una temperatura media de 28.5°C con humedad relativa media de 75%, precipitación de 1500 mm anuales, con un 30–60% de sombra. El terreno presentaba topografía plana con una inclinación del 1%, la unidad de producción se encontraba a una altitud de 90 msnm, y en la latitud 12^o 26´ norte y longitud 86^o 53´ oeste.

5.3 Descripción de los materiales utilizados.

Estiércol Vacuno: proporciona de 2–3% de nitrógeno y otros nutrientes, inoculo de microorganismos y es un material disponible a lo largo del año.

Hojas y Ramas de Mango Secas: es un material abundante y de adecuado contenido de lignina.

Biomasa de Sandía: con su relación C/N media se favorece la actividad de los microorganismos.

Cascarilla de Arroz Seca: constituye un sustrato que aporta carbono, retiene humedad.

Tallos Verdes de Plátano: es un material vegetal de alto contenido en agua, potasio y abundante en la zona.

5.4 Metodología

La metodología que se utilizó para la realización de esta investigación se dividió en 2 fases; la primera consistió en la producción de humus a través de 2 procesos de compostaje: lombrihumus y compostaje en montón. La segunda parte correspondía a determinar el porcentaje de ácidos húmicos en los sustratos en laboratorio.

5.5 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de Bloque completamente aleatorio (BCA), compuesto por 4 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Este diseño se adaptaba a la investigación por que logramos reducir la variabilidad dentro de los bloques o tratamientos y obtener la máxima diferencia entre los bloques, para así identificar el mejor tratamiento.

5.5.1 Disposición espacial de los tratamientos

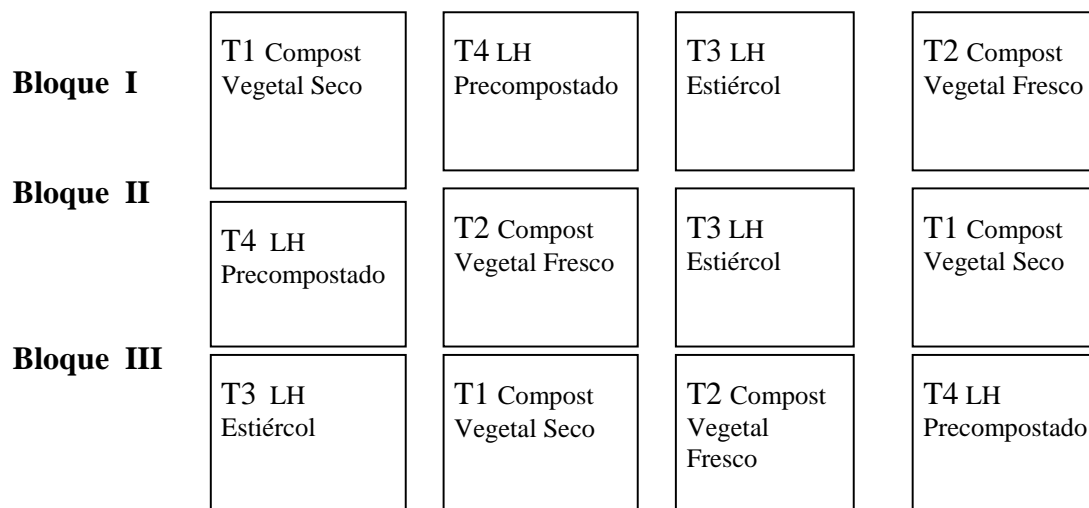


Figura No 3 Distribución de los tratamientos en el experimento

5.5.2 Definición de los Tratamientos

Cuadro 6 Descripción de los Tratamientos

Tratamientos	Descripción	Dosis
T ₁	Compost Vegetal Seco	6 bidones de ramas y hojas secas de mango + 3 bidones de biomasa verde de sandía + 1.5 bidones de cascarilla de arroz seca + 2.5 bidones de estiércol vacuno + 7 bidones de tierra.
T ₂	Compost Vegetal Fresco	4 bidones de biomasa seca de sandía + 3 bidones de pseudotallo verde de plátano + 4 bidones de biomasa seca de sandía + 8 bidones de Tierra.
T ₃	Lombrihumus Estiércol	6 bidones de estiércol vacuno fresco
T ₄	Lombrihumus Precompostado	3 bidones de estiércol vacuno + 3 bidones de pseudotallo de plátano.

Nota: 1 bidón = 20 litros

5.5.3 Establecimiento del Experimento

Son dos procesos de compostaje los que fueron establecidos; *Lombrihumus* y compostaje en montón.

5.5.3.1 Proceso de Compostaje

A) Las variables evaluadas en el método de Compostaje son

Temperatura

pH

La medición de las variables se realizó con el control de la temperatura a los 2-3 días después de elaboradas las pilas, la cual se controló cada 6 días. La variable de pH se realizó en intervalos de tiempo igual que la variable anterior.

En el método de compostaje se garantizaron las condiciones básicas del terreno, que estuviera limpio de malezas, con 1% de desnivel en el terreno para facilitar el drenaje y con cierta sombra del 30%.

Los materiales en la compostera tenían que tener una fuente de materia carbonada (rica en celulosa, lignina y azúcares) y fuentes de materia nitrogenada (rica en nitrógeno) y materiales de riqueza en lignina. Las herramientas utilizadas para la elaboración de la composta fueron rastrillo, pala, manguera, machete, cinta colorimétrica de pH y plástico negro.

Los materiales (tratamientos) vegetales se trituraron, mezclaron y homogenizaron, con el fin de mantener una relación de C/N 35:1 (es importante calcular la relación C/N de los materiales utilizados). Los tratamientos mezclados correctamente y preparados fueron depositados en montones una vez elegido el lugar de emplazamiento. Las dimensiones de la pila eran de 1 m de ancho, 1 m de longitud y 0.6 m de altura. Entre pila y pila había una distancia de 1.5 metros para facilitar el paso.

La pila o montón se inició colocando una capa de 20 cm de ramas y hojas secas de mango, una capa de materia verde de 10 cm, encima otra de cascarilla de arroz seca de 5 cm, una capa de estiércol de 10 cm y luego una de tierra agrícola de 10 cm. Se repitió la operación hasta formar un montón que alcanzara 60 cm de altura. En cada capa de material se adicionó agua hasta alcanzar el 60% de humedad. Finalmente se tapó la composta con una capa de hojas de palma de coco y/o plástico negro para prevenir la proliferación de insectos.

Las actividades para el proceso de compostaje y garantizar un manejo adecuado de los tratamientos (montos) serían:

Volteos (aireación de pilas), 1 semana después de elaborada la pila, se procedió a voltear el compost o de igual forma transcurrido 5 días, entre más volteo se proporcionaba a la composta más rápido sería la descomposición.

Se hizo control de temperatura 25 días después de establecidas las composteras la que debíamos mantener entre los 50°C a 70°C. En la primera etapa de descomposición, luego en la segunda etapa entre 35°C a 40°C, hasta que entrara en la etapa de enfriamiento.

5.5.3.2 Proceso de Lombrihumus

B) Las variables evaluadas en el método de Lombrihumus son:

Temperatura

pH

Para el caso del método de lombrihumus, se tomaron los datos de temperatura, humedad y pH, una vez establecido el experimento de las canoas, realizándose los muestreos en intervalos de 2 ó 3 días.

Se garantizó que el área fuera de fácil acceso, para las normas operacionales de riego y distribución de la comida. El área estaba sombreada y protegida de depredadores. Para el establecimiento del pie de cría, se preparó una cama de estiércol seco con agua, alcanzado un 80–85% de humedad. Esto se hizo con el propósito de brindarle un ambiente primario adecuado a las lombrices y que no sufran estrés. Se sembraron 2 kilos de lombrices (1200 a 1300) y luego se colocó la cama con un espesor de 5 a 10 cm. Luego se procedió a tapar la canoa con palmas de coco y se regó con agua.

La preparación del alimento (tratamiento): al estiércol fresco se le agregó agua hasta obtener una mezcla menos densa, se suministraron 3 Kg de comida, el alimento tenía una humedad entre 80 y 85% y se controló el pH, con una cinta de pH metro. Se aplicaron a las canoas una capa de alimento homogénea de 5 cm de espesor.

Se tapó las canoas con palmas de coco que permitiera la entrada de aire a las lombrices, pero no de los enemigos de ella. Se brindó alimento cada 3-4 días. En los días que no se aplicaba alimento se regaban las canoas para mantener la humedad del sustrato.

Se controlarían las condiciones de humedad (75-85%) adecuada, tanto de la canoa como de la capa que la cubría, el pH se debía mantener entre 6 y 8 y la temperatura de 15°C a 25°C para garantizar el manejo de las lombrices.

Para realizar la cosecha del humus, se cosecharon las lombrices primero, realizando 2 trampas, cada una con un periodo de 4 días; la comida se brindó con un porcentaje de humedad del 30% y se ubicó en el centro de las canoas, con un espesor de 10 a 14 cm, las lombrices se concentraron en la superficie, esto sucedió 2 ó 3 días después de haber puesto el alimento, una vez poblada la superficie se procedió a retirarla manualmente, introduciendo las manos y retirando el sustrato. Una vez cosechadas las lombrices se retiró el lombrihumus y fue depositado en un lugar con aireación y bajo sombra, cuidando que la humedad no bajara del 40% puesto que todavía había actividad microbiana, que es la que al final daría la calidad al lombrihumus.

C) Proceso de determinación de Ácidos Húmicos

- Variables a evaluar

pH

Porcentaje de ácidos húmicos extraídos

Porcentaje de Carbono Orgánico

Porcentaje de macro nutrientes N-P-K

Capacidad de intercambio catiónico

Materia Orgánica

D) Proceso de determinación de los costos de extracción

- Variables a evaluar

Costos de producción de ácidos húmicos en cada uno de los métodos.

5.6 Método de Fraccionamiento de la Materia Orgánica de (Kononova)

5.6.1 Materiales y Aparatos

Tubos de centrifuga de 200 ml

Baño de agua

pH-metro

Agitador de vaivén

Centrifuga

Estufa de aire forzado o normal

5.6.2 Reactivos

Dicromato potásico 1N

Acido fosfóricos 85%

Ortofenantrolina

Sal de Mohr 0.5N

Solución extractante de pirofosfato 0.1M en medio alcalino 0.1N recientemente preparado.

Acido sulfúrico (1:1)

Hidróxido de sodio 0.5N

Acido sulfúrico 0.001N

5.6.2 Procedimiento:

- 1-** Se pesaron de 5–10 gramos de muestra previamente secada y posteriormente se molieron a un tamaño de partícula de 1 mm.
- 2-** Se añadió 200 ml de solución extractora de $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7/\text{NaOH}$ y se agitó por unos minutos, dejándose en reposo durante 24 horas.
- 3-** Se filtró y se tomaron dos aplicaciones alícuotas (15-20-25-50 ml) en dependencia de la concentración (color de la solución), llevándose después a un erlenmeyer de 100 ml.
- 4-** Se añadieron 3 gotas de ácido sulfúrico (1:1) y se llevaron a la plancha para su evaporación (cuando quede un poco de residuo en el erlenmeyer se lleva a un baño de maría hasta la sequedad total). Esto se hizo para evitar que se resecara o se quemara. En esta alícuota se determinaría ácido fúlvico+húmico (C (h+f)).
- 5-** Del filtrado se volvió a pipetear una alícuota de (50-100 ml) para determinar ácido húmico, la que se llevó a un beaker donde añade sulfúrico (1:1) hasta pH igual a 1.5, para precipitar el ácido húmico.
- 6-** Se tapó con vidrio reloj y se colocó en plancha eléctrica a 70 °C durante 20-30 minutos bajándose y dejándolo en reposo hasta el día siguiente:
- 7-** Al día siguiente se filtró con papel de filtro evitando revolver el contenido del beaker para que no se desintegraran los ácidos húmicos. El filtrado (ácido fúlvico) se despreciaba ya que su concentración se obtiene por diferencia.

8- El ácido húmico que quedaba en el papel, se filtra, se llevaba a un matraz aforado de 50-100-200-250 ml en dependencia de la concentración, lavando el contenido del filtro con NaOH 0.05N en caliente que lo haría soluble (esto se realizaba hasta que el papel quedara completamente blanco).

9- Del contenido volumétrico se tomaron 2 alícuotas para determinar el ácido húmico (15-50ml) de acuerdo a la concentración y se llevó a erlenmeyer de 100 ml, se le añadió 3 gotas de ácido sulfúrico (1:1) y se colocó en plancha hasta sequedad (igual que se hizo anteriormente).

10- Tanto el ácido húmico + fúlvico, como el ácido húmico después de estar secos se le añadieron una pequeña cantidad de arena de sílice, 10 ml de mezcla crómica y se llevó a la plancha para hacerle una digestión de cinco minutos.

11- Después que se enfrió se le añadieron unos ml de agua destilada y se valoró con sal de Mohr 0:2N, añadiendo 3 gotas de indicador difenilamina hasta que el color cambiara de oscuro a verde claro.

Cálculos:

$$\% C(h-f) = \frac{(N \cdot V - N_1 \cdot V_1) \cdot 200 \cdot 0.003 \cdot 1.1 \cdot 100}{P_m \cdot \text{alícuota}}$$

P_m * alícuota

Donde:

V = ml de sal de mohr gastados en la valoración del blanco.

V₁ = ml de sal de mohr gastados en la valoración de la muestra.

N₁ = normalidad de la sal de mohr.

200 = ml de la solución extractora de pirofosfato de sodio e hidróxido de sodio.

P_m = peso de la muestra en gramos.

0.003 = para llevar los miliequivalente de carbono a gramos de carbono.

1.1 = coeficiente para llevar al 100% el poder de extracción del método que es del 90%.

100 = para llevar los resultados a %.

5.7 Levantamiento de Muestras para Análisis de Laboratorio

Para realizar el levantamiento de las muestras de las pilas de compost se obtuvo una muestra compuesta por 4 submuestras para cada una de las pilas a profundidades de 10 cm y 15cm. Luego de esto, se homogenizó cada una de las submuestras, tomando 3 muestras de 1 kg de peso de cada una de las pilas para ser llevadas al laboratorio.

En cuanto a las canoas se obtuvo una muestra compuesta por 3 submuestras las cuales se extrajeron a 10 cm de profundidad, realizándose de igual forma para cada tratamiento. Se homogenizó cada submuestra tomando 3 muestras de 1 kg para ser llevadas al laboratorio y hacer los análisis respectivos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

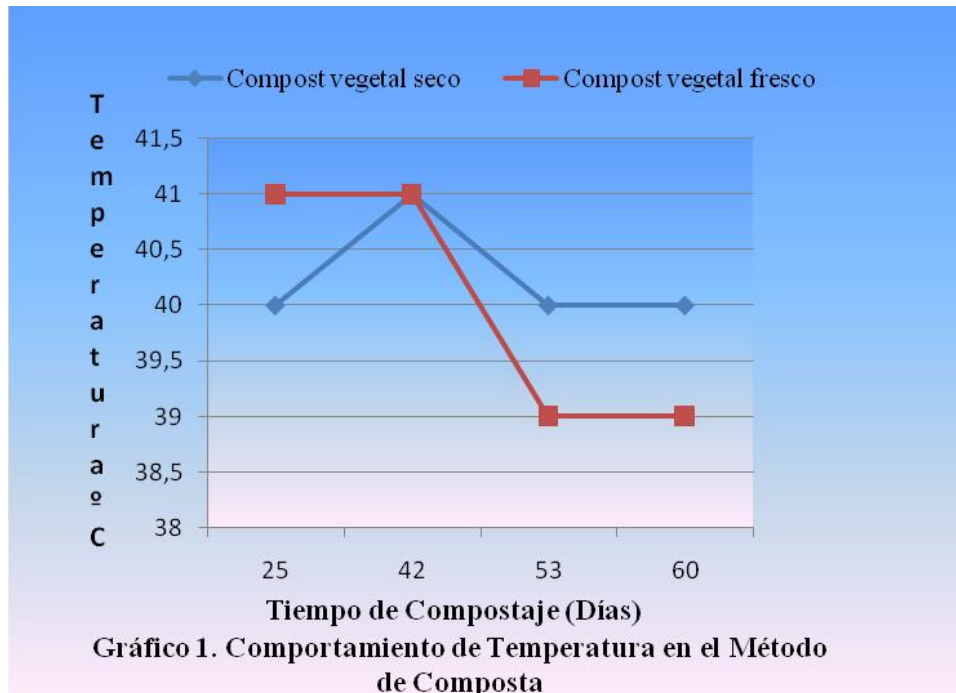
Proceso de Composta

Comportamiento de Temperatura en el Proceso de Composta

La temperatura durante el proceso de compostaje se debió a la actividad microbiana y la mineralización de los materiales orgánicos (Soto, 2003). La medición de las variables se tomaron a partir de los 25 días de establecido el experimento ya que el objetivo era la producción de humus en dicho método de compostaje para determinar el porcentaje de ácidos húmicos. La temperatura para los tratamientos del ensayo inició en 40°C según se observa en el **Gráfico 1** para el compost vegetal seco y de 41°C para el compost vegetal fresco, según los reportes, para la fase termofílica son de 40-75°C para Sztern y Pravia (1999). Las elevadas temperaturas alcanzadas son consecuencia de la relación superficie/volumen según (Sztern y Pravia, 1999) y del inicio de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. A los 42 días, la temperatura desciende, este hecho se asocia por la pérdida de calor debido a que la relación superficie/volumen aumenta al homeginzar las materias primas en las composteras y se le agregaba agua a cada tratamiento para así mantener la humedad adecuada del proceso. A partir de los 53 días la temperatura registrada para ambos tratamientos se mantuvo alrededor de los 40°C. Sin embargo para el compostaje con bioensayo de volumen pequeño se reporta una temperatura de 41°C-42°C debido a que la generación de calor es proporcional al volumen de la muestra inicial, es decir que al aumentar el volumen del material en descomposición, se favorece el aumento de la densidad poblacional microbiana, por esta razón el desprendimiento de calor es mayor lo que se traduce en aumento de temperatura. Estos valores fueron emitidos por Jaramillo y Martínez (2000).

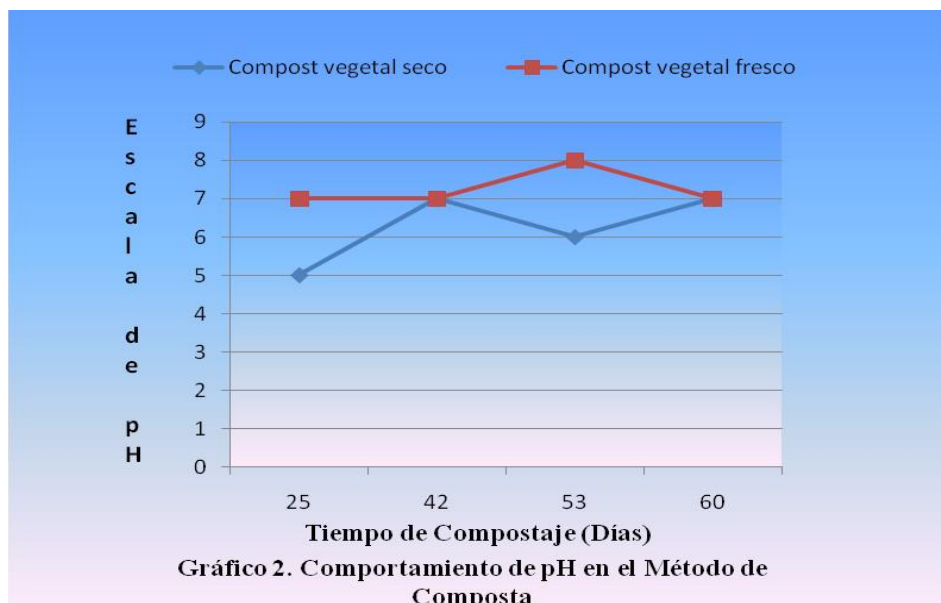
Es importante aumentar la relación superficie/volumen que en este experimento el cual fue de 0.02 m³ en las composteras para obtener un aumento en el comportamiento de la temperatura y garantizar excelentes resultados al finalizar el proceso.

Para ambos tratamientos la fase de enfriamiento correspondió a una disminución y estabilización de la temperatura. Para obtener mejores rendimientos en el proceso de descomposición, es necesario que la trituración, mezcla y homogenización de la materia prima a utilizar sea proporcional en cuanto a la realación C/N 25:35.



Comportamiento de pH en el Proceso de Composta

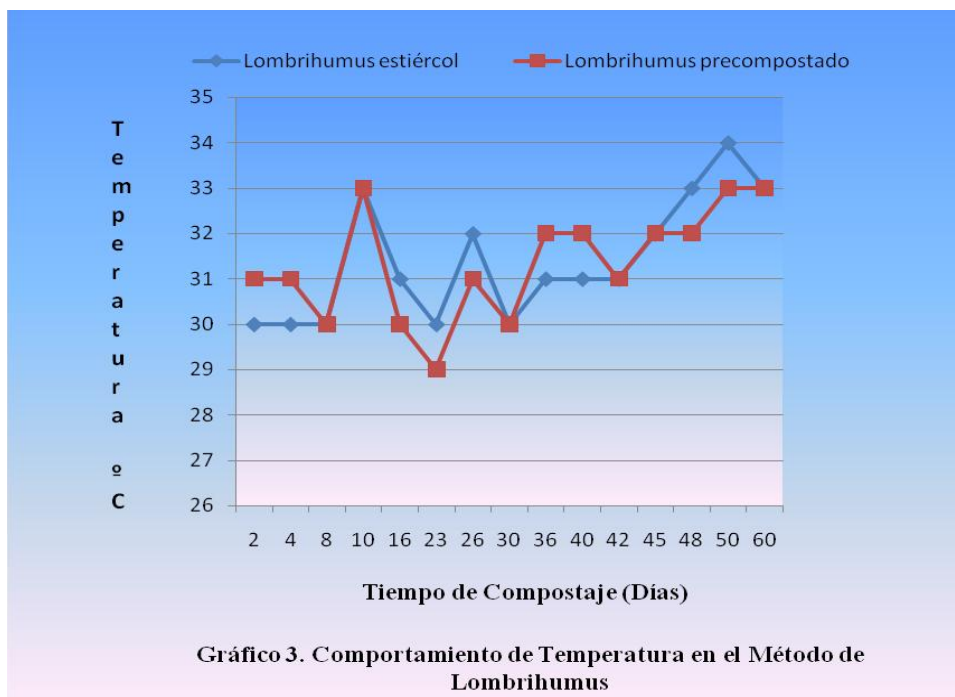
El comportamiento del pH en los T1 (compost vegetal seco) y T2 (compost vegetal fresco) reflejados en el **Gráfico 2** se consideran un rango aceptable de (5-7) CITA, sin embargo la diferencia entre ambos tratamientos se debe al contenido de pseudotallos de plátano en el T2 que presenta mayor pH que el T1, donde hay mayor contenido de (K) potasio. El pH varió a lo largo de todo el proceso, se registra el nivel de pH al inicio del proceso en el rango (6-5), según (Restrepo, 2007) en la primera fase, fase mesofílica, para volver a aumentar posteriormente.

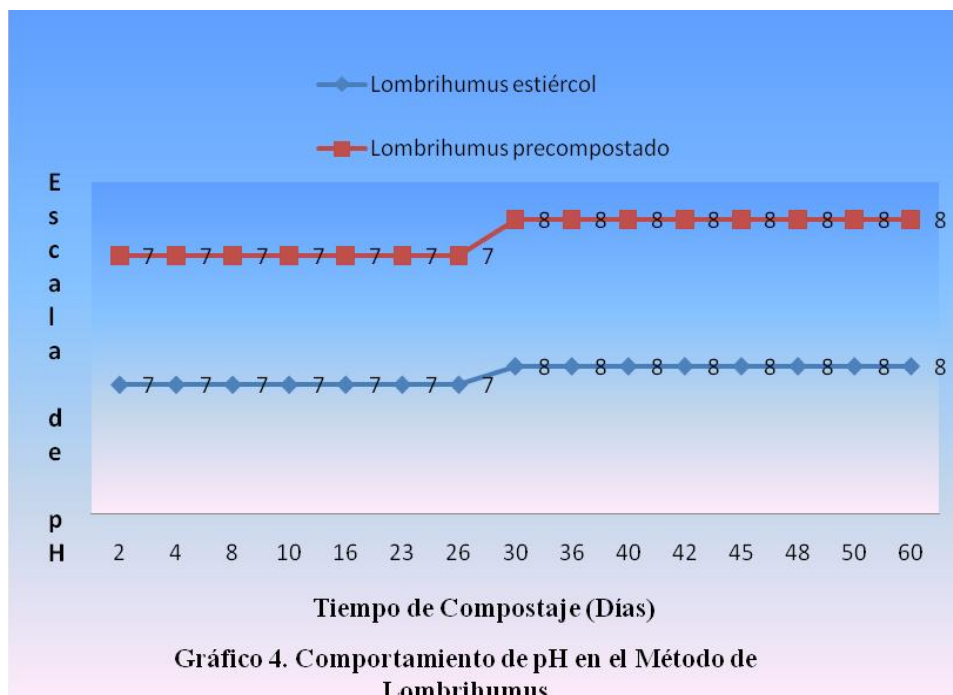


Proceso de Lombrihumus

Comportamiento de Temperatura en el Proceso de Lombrihumus

La temperatura en el **Gráfico 3** presentó un comportamiento similar entre el T3 compuesto por estiércol vacuno fresco y el T4 que contenía estiércol vacuno y pseudotallos de musáceas. Los valores observados, no sobrepasan el rango de temperatura ambiental durante los días que se tomaron los datos. La temperatura registrada en el T4 era de 31-33°C y un máximo de temperatura en el T3 de 34°C, esto se presentó a los 50 días, etapa en la cual se inició la cosecha del humus, lo cual no tuvo ningún efecto letal sobre las lombrices. Estos valores se encontraban dentro de los rangos reportados por Rostrán (2006) de 29°C y 33°C para nuestras condiciones climáticas. Otros lugares como Mateare, la UNAN LEÓN, donde se trabaja en la producción de lombrihumus se ha registrado temperaturas ambientales hasta de 40°C con lo cual se demuestra que los valores señalados anteriormente están dentro del rango. Por otro lado Martínez y otros (1996) determinaron rangos de temperatura de 15°C–25°C para un buen proceso de compostaje dentro de las condiciones climáticas de la región norte de México y Sur América que se encuentran en una latitud y altitud distintas a las nuestras. A esto también agregamos que en un estudio realizado por la Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí en sus condiciones climáticas de montañas, coinciden y reportan el mismo rango de temperatura mostrado por Martínez *et al* (1996).





Comportamiento de pH en el Proceso de Lombrihumus

El pH observado en el **Gráfico 4** con respecto al T3 compuesto de estiércol vacuno fresco y el T4 que tenía pseudotallos de musáceas y estiércol vacuno en su mezcla, mostraron el mismo comportamiento de nivel de pH entre un mínimo de 7 y un máximo de 8, manteniéndose estable en el rango adecuado para un proceso de compostaje como lo es de 6 y 8, reflejado por Rostrán (2004-2005). Además que Ferruzi (2001) observó resultados positivos a niveles de pH de 6-7.6.

Cuadro 1. Características Análíticas de las muestras en dos métodos de compostaje.

Muestra	pH	MO %	CO %	CIC meq/100g	N %	P mq/100g	K mq/100g	AH %	AF %	C/N
Compost vegetal seco T1	7	17.32	10.39	24.4	1.5	5	21.5	1.75	0.97	7
Compost vegetal fresco T2	7	11.93	7.16	77.45	1.8	3	15.8	1.83	0.2	4
Lombrihumus estiércol T3	8	67.31	40.38	30.67	2.6	7.9	27.8	4.33	4	17
Lombrihumus precompostado T4	8	62.38	37.42	28.07	3.6	8.2	25.9	4.22	5.4	11

El valor de **pH** (8) resultante en el humus del T3 con sustrato 100% estiércol bovino se encuentra dentro del rango 7–8.5 reportado según Hervas *et al* (1989). Con respecto al T4 el pH (8) del humus final y para sustrato estiércol bovino y residuos vegetales precompostados el valor esta dentro del rango de 7–8.5 según Hervas *et al* (1989), Fernández (2006).

Respectivamente el valor pH (7) tanto para el T1 y T2 para un compost deseable se halla entre el rango reportado de 6.5 a 8 según Soto (2003). Según ANOVA el **pH** promedio en el compost vegetal seco es de 7.33 y para el compost vegetal fresco 7.63 y en LH estiércol 8.03 y LH precompostado 8.16.

El porcentaje de **M.O** de 67.31% en el T3 y 62.38% en el T4 están dentro del rango de 30 a 60% de M.O en un lombrihumus tanto de origen de estiércol bovino así como estiércol más residuo vegetal previamente precompostado Cony *et al* (2006), Hervas *et al* (1989). El contenido de M.O en el T1 y T2 se encuentra en el rango permisible de 10 a 13% según (Soto 2003 y Primavesi 1986). En la M.O los promedios según ANOVA fueron 17.32 para el compost vegetal seco y 11.93 el compost vegetal fresco y de 67.31 para el LH estiércol y 62.38 para el LH precompostado.

El **carbono orgánico** en los T1 y T2 fue de 7 a 10% según, Soto 2003 y Primavesi 1986. Asimismo los valores de carbono orgánico se correlacionan con los porcentajes de M.O en el humus de los T3 y T4.

La **CIC** en el tratamiento T2 registró el valor máximo con 77.45, mientras que el T3 30.67 y en el T1 24.4 y T4 28.07 meq/100g valores que están en el rango de 24 y 70 meq/100g según lo reportó (Primavesi, 1986). Sin embargo Fassbender (1986) reporta que los valores pueden alcanzar un rango entre 70 y 90 meq/100g y según Fassbender (1986) se explica el incremento por los procesos oxidativos y presencia de grupos fenólicos liberados de la celulosa y que al incremento de la CIC se debe registrar un descenso de la relación C/N y por lo tanto al aumentar la CIC aumenta el contenido de nitrógeno por su estabilización e inmovilización en los cuerpos de los microorganismos descomponedores. En la CIC se registraron promedios de 23.43 en el compost vegetal seco y 16.75 en el compost vegetal fresco mientras que el LH estiércol registró un promedio de 30.15 y LH precompostado 27.49, según ANOVA.

El parámetro C/N en el T 1 y T 2 del método de compost los valores están en un rango bajo (7–4) tomando en consideración que al finalizar dicho proceso la relación C/N debe ser entre 10 y 15, según Sztern y Pravia *et al* (1999). La baja relación C/N del producto final, compost, en T1 y T2 detecta un número de átomos de carbono que no favorece la sucesión de la población microbiana y su actividad en la eficiencia de la mineralización y humificación de la materia orgánica. La relación C/N en el T3 con 11 y T4 17, están acorde a lo reportado por Hervas *et al.*, 1989, citados por Irisson, 1995 con rango de C/N 10 a 17.

El porcentaje de **ácidos húmicos** en el T1 1.75 y T2 % 1.83% son valores inferiores a los reportados por Primavesi (1986) de 2–4% en compost. En el T3 con estiércol bovino el porcentaje de A.H fue de 4.33% y en el T4 estiércol bovino y desecho vegetal de musáceas pre-compostado fue de 4.22%, valores que son inferiores al porcentaje de ácidos húmicos en el método de lombricompost reportado por Hervas *et al.*, (1989) con un contenido de 17.2% de ácidos húmicos en un sustrato de estiércol de vaca y 13.95% de ácidos húmicos para un sustrato con estiércol más residuo vegetal.

Es importante mencionar que definir el tiempo de maduración en un compost es determinante para la formación del humus en el abono, lo cual depende de las condiciones climáticas y la frecuencia de cambio de sitio, siendo un período de 15 a 30 días según Sztern y Pravia (1999) en el cual el componente más indigestible de la fibra, la lignina, es modificada mediante reacciones secundarias complejas (de condensación y polimerización), dando lugar a moléculas orgánicas menos biodegradables o más estables de los componentes orgánicos dejados por la fase anterior. En esta fase se producen fenómenos de humificación y mineralización. El tiempo de maduración en el T1, T2, T3 y T4 fue de 15 días después de los 60 días de finalizado el proceso de compostaje. Cabe señalar que los ácidos húmicos que contiene el humus el 50% son proporcionados durante el proceso digestivo de las lombrices y el otro 50% en el período de reposo o maduración, reportado por Sztern y Pravia (1999). En los A.H los promedios de ANOVA son de 1.67 para el compost vegetal seco y 1.80 para el compost vegetal fresco y en LH estiércol 4.31 y L.H precompostado 4.20.

A través del análisis estadístico realizado con **ANOVA** del programa **SPSS 12** podemos observar en el Cuadro 4 (**Ver anexo**) que hay diferencia significativa entre ambos métodos de compostaje; Lombrihumus y Compost, sin embargo dentro de los métodos de

compostaje (Compost Vegetal Seco, Compost Vegetal Fresco), (Lombri humus Estiércol y Precompostado) no existe diferencia significativa.

Los promedios en el **Nitrógeno (N)** fueron de 1.36 para el compost vegetal seco y 1.56 en el compost vegetal fresco y en LH estiércol 2.36 y 3.50 para L.H precompostado.

En **Fósforo (P)** el promedio del compost vegetal seco es de 4.03 y 2.50 para el compost vegetal fresco y 7.50 LH estiércol y 8.03 para LH precompostado.

En el caso del **Potasio (K)** podemos apreciar que los promedios fueron 20.80 (compost vegetal seco) y 15.63 (compost vegetal fresco) y en el LH precompostado 25.33 y 27.23 con respecto al LH sólo con estiércol.

Cuadro 2. Costos de Producción/Determinación de Ácidos Húmicos en el Método de Lombrihumus

Costos Directos				
	Unidad	Cantidad	Valor \$	Total
Lombrices	Kilogramo	12	25	300
Canteros	Unidad	6	10	60
Mano de Obra	Día/Hombre	11.25	5.2	58.5
Estiércol	kilogramo	130	0.05	6.5
Agua	Metro Cúbico	2	3	6
Material Vegetal	Kilogramo	130	0.05	6.5
Subtotal				437.5
Costos Indirectos				
	Unidad	Cantidad	Valor \$	Total
Pala	Unidad	2	4	8
Carretilla	Unidad	1	100	100
Bolsas Plásticas	Unidad	8	0.15	1.2
Cinta pH	Unidad	1	17	17
Regadora	Unidad	1	4	4
Termómetro	Unidad	1	20	20
Subtotal				150.2
Costo Total Directo				437.5
Costo Total Indirecto				150.2
Subtotal				587.7
Extracción A.H				5
Costo Total de Producción				592.7

La inversión inicial en el método de lombrihumus es de \$592.7 El costo de producción se subdividió a partir de los costos directos e indirectos, siendo los costos directos de \$437.5 y para los costos indirectos \$150.2 habiendo una diferencia entre ellos de \$287.3. Cabe destacar que para el pago de la mano de obra se tomó como referencia el pago de la misma en el área de producción e investigación de abonos orgánicos de la UNAN León (Rostrán 2005). El pago D/H en esta área de producción de 200 m² con 12 canteros de producción garantiza la rentabilidad de esta unidad productiva con respecto a la mano de obra. A este costo de producción hay que agregar que el costo de los análisis de las muestras de abono tiene un valor de \$ 140 y el costo de extracción de ácidos húmicos en el método de lombrihumus tiene un valor de \$ 5. La concentración de ácidos húmicos en los abonos de ambos métodos de compostaje determina el costo de la extracción, en promedio para extraer 1 litro de ácido húmico y con un costo máximo rentable de \$20-25 se necesita tener una concentración de 20-30% de ácido húmico en los abonos. (LAQUISA, 2009). Los detalles de los costos de producción de ácidos húmicos en este método de compostaje se podrán ver en el **Cuadro 2** de Anexos.

Cuadro 3. Costos de Producción/Determinación de Ácidos Húmicos en el Método de Composta

Costos Directos				
	Unidad	Cantidad	Valor \$	Total
Estiércol	Kilogramo	130	0.05	6.5
Plástico negro calibre mil	Yardas	15	0.6	9
Material Vegetal	Kilogramo	0.49	0.1	0.049
Mano de Obra	Día/Hombre	7.5	5.2	39
Agua	Metro cúbico	2	1	2
Subtotal				56.549
Costos Indirectos				
	Unidad	Cantidad	Valor \$	Total
Cinta pH	Unidad	1	17	17
Pala	Unidad	2	4	8
Carretilla	Unidad	1	100	100
Regadora	Unidad	1	4	4
Termómetro	Unidad	1	20	20
Sacos de 100 lbs	Unidad	2	0.1	0.2
Subtotal				149.2
Costo Total Directo				56.549
Costo Total Indirecto				149.2
Subtotal				205.749
Extracción A.H				5
Costo Total de Producción				210.749

La inversión inicial en el método de composta es de \$210.749 El costo de producción al igual que en el proceso anterior, también se subdividió en costos directos e indirectos siendo el costo directo \$56.549 mientras que los costos indirectos es de \$149.2 con una diferencia de \$92.651. El precio que se paga por la mano de obra en la elaboración de las compostas al igual que en el proceso de lombrihumus garantiza la rentabilidad de este proceso productivo con respecto a la mano de obra. A este costo de producción hay que agregar que el costo de los análisis de las muestras de abono tiene un valor de \$ 140 y el costo de extracción de ácidos húmicos en el método de composta tiene un valor de \$ 5. La concentración de ácidos húmicos en los abonos de ambos métodos de compostaje determina el costo de la extracción, en promedio para extraer 1 litro de ácido húmico y con un costo máximo rentable de \$20-25 se necesita tener una concentración de 20-30% de ácido húmico en los abonos. (LAQUISA, 2009). Los detalles de los costos de producción de ácidos húmicos en este método de compostaje se podrán ver en el **Cuadro 3** de Anexos.

Dentro de nuestros costos de producción, no existe depreciación de ningún equipo o herramienta porque no son necesarias dentro de esta actividad, las herramientas que utilizamos en la contabilidad agropecuaria son clasificadas como herramientas menores que por su valor y corta vida útil no entran a formar parte de los activos fijos que si se deprecian, por lo tanto, entran como costo indirecto de producción, pueden quedar buenos o dañados y ser utilizados en la próxima producción (Lara, 2009).

VI. CONCLUSIONES

- ✓ Entre los procesos de composta y lombrihumus hay una diferencia de 2.78% en el contenido de ácidos húmicos, siendo el mejor el T3 con 4.33% de ácidos húmicos.
- ✓ Entre los métodos de compostaje el de menor costo fue el de compost (\$210.749) con un incremento de 64.45% en el método de lombrihumus con respecto al de compost.
- ✓ Concentraciones bajas 1-4% de ácidos húmicos en los abonos de ambos procesos de compostaje y a un costo de extracción de \$5 no garantiza la rentabilidad para extraer 1 litro de ácido húmico.
- ✓ La relación C/N son mayores en los T3 (17) y T4 (11) de lombrihumus, relacionado con un mayor contenido de ácidos húmicos de 4.33% y 4.22%, respectivamente, en estos tratamientos.
- ✓ Entre los métodos de compostaje Lombrihumus y Compost existe diferencia significativa en el contenido de ácidos húmicos, sin embargo dentro de cada método de compostaje no existe diferencia significativa.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ La trituración, mezcla y homogenización de la materia prima a utilizar en el proceso de composta deberá ser proporcional y equilibrada en cuanto a la relación C/N óptima de 25-35.
- ❖ Proporcionar a las composteras volúmenes superiores a los 60 cm de altura para obtener mejores resultados al finalizar el proceso de compostaje para garantizar el aumento de temperatura y mayor población microbiana.
- ❖ Aumentar el tiempo de maduración del abono en ambos métodos de compostaje.
- ❖ Realizar extracción de ácidos húmicos en abonos orgánicos que tengan una concentración del 20-30% con lo cual se pueda extraer 1 litro de ácido húmico a un costo rentable.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ ANPROCAP, Primer Congreso, Lomas de Monserrat, Managua, Nicaragua, Octubre del 2005. Abonos Orgánicos y Bioplaguicidas.
- ❖ Atlas, R; Bartha, R. Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. 2. da. Ed en español. Pearson Educacion, S.A. Madrid 2002. 677 pag.
- ❖ Bollo, E. 1999. Lombricultura una alternativa de reciclaje. Ediciones Mundi-prensa, España. 150pag.
- ❖ Fassbender, H. 1986. Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. 1ª. Ed. 5ª reimpresión. San José, Costa Rica. 66 – 103 pag.
- ❖ Fernández, M. Evaluación Agronómica de sustancias húmicas derivadas de humus de Lombriz, Tesis, área forestal, Facultad de Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2003, 52pag.
- ❖ Ferruzzi, C. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi/Prensa, Madrid, España, 2001. 75-84 pag.
- ❖ Fuentes, J. 1999. El Suelo y los Fertilizantes. Ediciones Mundi-Prensa, España. 91-122 pag.
- ❖ Guerreo, A. 1996. El Suelo, los Abonos y la Fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi – Prensa, Bilbao, España. 206 pag.
- ❖ Gonzáles, F. Generalidades del Reciclaje Vegetal y Sustancias Húmicas. Nicaragua, 2007. Comunicación Personal.
- ❖ Jaramillo, G y Martínez, Z. Biodegradación aerobia de desechos vegetales por medio de bacterias. Medellin, Tesis (Ingeniero Químico) Universidad de Colombia. Facultad Nacional de Minas.

- ❖ Kononova.1966. Soil Organic Matter. 2. da. Ed. Pergamon Press Oxford.
- ❖ Landeros, F.1993. Monografía de los ácidos húmicos y fúlvicos, tesis, área de Hortalizas y Flores, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile, 145 pag.
- ❖ Lara, R. Contabilidad de Costos, 2009. Comunicación Personal.
- ❖ Martínez, C. 1996. Potencial de la Lombricultura. México. 129 pag.
- ❖ McCarthy. 2001. The principles of humic substances. Soil science, 166, 738-731 pag.
- ❖ Pérez, J. y López, A. Agroquímica Tomo II. La Habana, Cuba, 1965. 48-51 pag.
- ❖ Primavesi, A. 1984. Manejo Ecológico de Suelo. El Ateneo. Buenos Aires. 494p.
- ❖ Proyecto INTA FAO GCP/NIC/025/NOR. 2002. Manejo Integrado de la Fertilidad de los Suelos en Nicaragua. Ed. Inpasa, 130 pag.
- ❖ Restrepo, J. Manual Práctico el A, B, C de la agricultura orgánica y harina de roca, SIMAS (Servicio de Información Mesoamericano sobre la Agricultura Sostenible) 1^{era} edición, 2007.
- ❖ Rivera, L y Castellón, N. Uso y Manejo del Estiércol. UNICAM, Estelí, Nic. 20 pag.
- ❖ Rostrán, J. Manual para la producción de abonos orgánicos: Lombriabono. UNAN-León, 2006.
- ❖ Rostran, J. Generalidades de los procesos de compostaje. UNAN-León, 2007. Comunicación Personal.
- ❖ Sánchez, P. 1981. Suelos del Trópico. IICA. San José. 634 pag.

- ❖ Sandoval, B. Análisis de Suelo y Sustratos Orgánicos. LAQUISA, 2009.
Comunicación personal.
- ❖ Stevenson, F. 1982. Humus Chemistry. New York, Estados Unidos.
- ❖ Schnitzer, M. 1978. Humic Substances in the environment. New York. 155 pag.
- ❖ Soto, M. Abonos Orgánicos: El proceso de compostaje. En: memorias taller de abonos orgánicos, Sabanilla, Costa Rica, Marzo de 2003. 29 – 66 pag.
- ❖ Sztern, D y Pravia. Manual para la Elaboración de Compost. Bases conceptuales y Procedimientos. Montevideo, Uruguay. 1999.
- ❖ Tisdale, S. L y Nelson, W. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. 2. Da. Ed. Macmillan Company. New York, Estados Unidos. 694 pag.
- ❖ Worthen, F. y Aldrich, S. Suelos Agrícolas. Edición Revolucionaria, Habana, Cuba, 2 edición, 1968. 151-175 pag.

VI. ANEXOS

Instrumento de Muestreo de pila de Compost

Sitio de Compostaje

Número de Tratamiento

Número de Pila

Inicio de Formación de Pila Fecha de Formación de Pila Completa

Valoración de Insumos Utilizados

Tratamiento del Material Vegetal

Lectura de Temperatura de la Pila ° C

FECH A	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		PROMEDIO	
	Centro	Superficie	C	S	C	S	C	S	C	S

Valoración de Humedad de la Pila %

FECHA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PROMEDIO

Nivel de pH

Agua Agregada (ml)

Fecha de Volteo / mezclado

Condición atmosférica

Nombre del que realiza el Muestreo _____

Formato de Muestreo para Canoas de Producción de Lombrihumus

Número de canoa	<input type="text"/>	Fecha de inicio	<input type="text"/>
Número inicial de lombrices	<input type="text"/>		
Fecha de inoculación de lombriz	<input type="text"/>		
pH inicial	<input type="text"/>		
Lectura de humedad	<input type="text"/>		
Nivel de temperatura	<input type="text"/>		
Fecha próxima de alimentación	<input type="text"/>		

Cuadro 1. Características Analíticas de los Tratamientos de Lombrihumus y Composta con sus Debidas Réplicas.

Tratamientos	pH	MO %	CO %	AH %	CIC meq/100 g	N mg/100 g	P mg/100 g	K mg/100 g
T1	7,5	17.67	10.6	1.75	24.4	1.5	5	21.5
T1	7,3	17.5	10.5	1.6	22.4	1.4	3	20.3
T1	7,2	16.8	10.08	1.68	23.5	1.2	4.1	20.6
T2	7.7	12.02	7.2	1.83	17.45	1.8	3	15.8
T2	7.5	12.08	7.24	1.79	16	1.5	2.1	15.4
T2	7.7	11.7	7.02	1.8	16.8	1.4	2.4	15.7
T3	8.1	71.34	44.8	4.33	30.67	2.6	7.9	27.8
T3	7.9	62.3	37.38	4.31	30.3	2.4	7.5	26.5
T3	8.1	68.3	40.98	4.3	29.5	2.1	7.1	27.4
T4	8.2	64.45	38.6	4.22	28.07	3.6	8.2	25.9
T4	8.1	62.5	37.5	4.21	27.5	3.4	8.1	25.3
T4	8.2	60.2	36.12	4.19	26.9	3.5	7.8	24.8

Cuadro 2. Costos de Producción de Ácidos Húmicos en el método de Lombrihumus

Nº	Materiales	UM	Costo Unitario U\$	Cantidad	Costo Total U\$	Costo Precomposta U\$	Costo Estiércol U\$
1	Lombrices	Kg	25	12	300	150	150
2	Agua	M ³	3	2	6	3	3
3	Estiércol	Kg	0.05	130	6.5	3.25	3.25
4	Material vegetal	Kg	0.05	130	6.5	3.25	00
4	Canteros	Canoas	10	6	60	3.75	3.75
5	Cina pH	Unidad	17	1	17	2.13	2.13
6	Regadora	Unidad	4	1	4	0.5	0.5
7	Carretilla	Unidad	100	1	100	25	25
8	Palas	Unidad	4	2	8	1	1
9	Mano Obra	D/H	5.2	11.25	58.5	36.25	29.25
10	Termómetro	Unidad	20	1	20	2.5	2.5
11	Bolsas Plásticas	Unidad	0.15	8	1.2	0.6	0.6
	SUBTOTAL				587.7	208.63	198.38
12	Determinación de Ácidos Húmicos				5	5	5
	TOTAL				592.7	213.63	203.38

A continuación detallamos los costos de producción y determinación de ácidos húmicos en el método de lombrihumus. El costo total de producción es de 592.7 dólares, el cual se subdividió en 2 subtotales, para diferenciar los costos del T3 y T4. En donde las herramientas se amortizan, para un ciclo de producción mínimo de un año.

Las diferencias en los costos del tratamiento (precomposta) es de 213.63 dólares comparado con el costo del tratamiento (estiércol) de 203.38 dólares, resulta una diferencia de 10.25 dólares. El tratamiento de precomposta incrementa los costos de mano de obra en un 20%, ya que requiere mayor tiempo en el acarreo, trituración y mezcla de la misma.

A este costo de producción hay que sumar el costo de los análisis químicos de los sustratos (T1 y T2), tienen un valor de 70 dólares, más el costo de determinación de la concentración de ácidos húmicos que es de 5 dólares.

Según (Sandoval, 2009) se necesita tener una concentración de 20 – 30% de ácidos húmicos en los sustratos orgánicos, para extraer 1 litro de ácidos húmicos.

Cuadro 3. Costos de Producción de Ácidos Húmicos en el método de Composta

N ^o	Materiales	UM	Costo Unitario U\$	Cantidad	Costo Total U\$	Residuo Verde U\$	Residuo Seco U\$
1	Plástico negro calibre mil	Yardas	0.6	15	9	4.5	4.5
2	Agua	M ³	1	2	2	1	1
3	Estiércol	Kg	0.05	130	6.5	3.25	3.25
4	Sacos de cascarilla de arroz de 100 lbs	Sacos	0.1	2	0.2	0.1	0.1
5	Cinta pH	Unidad	17	1	17	2.13	2.13
6	Regadora	Unidad	4	1	4	0.5	0.5
7	Carretilla	Unidad	100	1	100	25	25
8	Palas	Unidad	4	2	8	1	1
9	Mano Obra	D/H	5.2	7.5	39	22.5	18
10	Termómetro	Unidad	20	1	20	2.5	2.5
11	Material Vegetal	M ³	0.1	0.49	0.049	0.18	0.31
	SUBTOTAL				205.749	42.06	23.75
12	Determinación de Ácidos Húmicos				5	5	5
	TOTAL				210.749	47.06	28.75

A continuación detallamos los costos de producción y determinación de ácidos húmicos en el método de composta. El costo total de producción es de 210.749 dólares, el cual se subdividió en 2 subtotales, para diferenciar los costos del T1 y T2. En donde las herramientas se amortizan, para un ciclo de producción mínimo de un año.

Las diferencias en los costos del tratamiento con (residuos verdes) es de 42.06 dólares comparado con el costo del tratamiento (residuos secos) de 23.75 dólares, resulta una diferencia de 18.31 dólares. El tratamiento con residuos verdes incrementa los costos mano de obra en un 20%, ya que requiere mayor tiempo en el acarreo, trituración y mezcla de los materiales.

A este costo de producción hay que sumar el costo de los análisis químicos de los sustratos (T1 y T2), tienen un valor de 70 dólares, más el costo de determinación de la concentración de ácidos húmicos que es de 5 dólares.

Según (Sandoval, 2009) se necesita tener una concentración de 20 – 30% de ácidos húmicos en los sustratos orgánicos, para extraer 1 litro de ácidos húmicos.

Cuadro 4. Análisis Descriptivos de los Métodos de Compostajes

4.1 Análisis Descriptivo de pH, Materia Orgánica y Carbono Orgánico en los Métodos de Compostajes

Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH	Compost Vegetal Seco	3	7.3333	.15275	.08819	6.9539	7.7128	7.20	7.50
	Compost Vegetal Fresco	3	7.6333	.11547	.06667	7.3465	7.9202	7.50	7.70
	Estiércol Vacuno Fresco	3	8.0333	.11547	.06667	7.7465	8.3202	7.90	8.10
	Estiércol Precompostado	3	8.1667	.05774	.03333	8.0232	8.3101	8.10	8.20
	Total	12	7.7917	.35792	.10332	7.5643	8.0191	7.20	8.20
MO	Compost Vegetal Seco	3	17.3233	.46112	.26623	16.1778	18.4688	16.80	17.67
	Compost Vegetal Fresco	3	11.9333	.20429	.11795	11.4259	12.4408	11.70	12.08
	Estiércol Vacuno Fresco	3	67.3133	4.60006	2.65584	55.8862	78.7405	62.30	71.34
	Estiércol Precompostado	3	62.3833	2.12740	1.22826	57.0986	67.6681	60.20	64.45
	Total	12	39.7383	26.45418	7.63667	22.9301	56.5465	11.70	71.34
CO	Compost Vegetal Seco	3	10.3933	.27592	.15930	9.7079	11.0788	10.08	10.60
	Compost Vegetal Fresco	3	7.1533	.11719	.06766	6.8622	7.4444	7.02	7.24
	Estiércol Vacuno Fresco	3	41.0533	3.71054	2.14228	31.8358	50.2708	37.38	44.80
	Estiércol Precompostado	3	37.4067	1.24263	.71743	34.3198	40.4935	36.12	38.60
	Total	12	24.0017	16.09439	4.64605	13.7758	34.2276	7.02	44.80

4.2 Análisis Descriptivo de Ácidos Húmicos y Carbono Orgánico en los Métodos de Compostajes

Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
AH	Compost Vegetal Seco	3	1.6767	.07506	.04333	1.4902	1.8631	1.60	1.75
	Compost Vegetal Fresco	3	1.8067	.02082	.01202	1.7550	1.8584	1.79	1.83
	Estiércol Vacuno Fresco	3	4.3133	.01528	.00882	4.2754	4.3513	4.30	4.33
	Estiércol Precompostado	3	4.2067	.01528	.00882	4.1687	4.2446	4.19	4.22
	Total	12	3.0008	1.31707	.38021	2.1640	3.8377	1.60	4.33
CO	Compost Vegetal Seco	3	10.3933	.27592	.15930	9.7079	11.0788	10.08	10.60
	Compost Vegetal Fresco	3	7.1533	.11719	.06766	6.8622	7.4444	7.02	7.24
	Estiércol Vacuno Fresco	3	41.0533	3.71054	2.14228	31.8358	50.2708	37.38	44.80
	Estiércol Precompostado	3	37.4067	1.24263	.71743	34.3198	40.4935	36.12	38.60
	Total	12	24.0017	16.09439	4.64605	13.7758	34.2276	7.02	44.80

4.3 Análisis Descriptivo de N, P, K en los Métodos de Compostajes

Descriptivos

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
N	Compost Vegetal Seco	3	1.3667	.15275	.08819	.9872	1.7461	1.20	1.50
	Compost Vegetal Fresco	3	1.5667	.20817	.12019	1.0496	2.0838	1.40	1.80
	Estiércol Vacuno Fresco	3	2.3667	.25166	.14530	1.7415	2.9918	2.10	2.60
	Estiércol Precompostado	3	3.5000	.10000	.05774	3.2516	3.7484	3.40	3.60
	Total	12	2.2000	.89035	.25702	1.6343	2.7657	1.20	3.60
P	Compost Vegetal Seco	3	4.0333	1.00167	.57831	1.5451	6.5216	3.00	5.00
	Compost Vegetal Fresco	3	2.5000	.45826	.26458	1.3616	3.6384	2.10	3.00
	Estiércol Vacuno Fresco	3	7.5000	.40000	.23094	6.5063	8.4937	7.10	7.90
	Estiércol Precompostado	3	8.0333	.20817	.12019	7.5162	8.5504	7.80	8.20
	Total	12	5.5167	2.47784	.71529	3.9423	7.0910	2.10	8.20
K	Compost Vegetal Seco	3	20.8000	.62450	.36056	19.2487	22.3513	20.30	21.50
	Compost Vegetal Fresco	3	15.6333	.20817	.12019	15.1162	16.1504	15.40	15.80
	Estiércol Vacuno Fresco	3	27.2333	.66583	.38442	25.5793	28.8874	26.50	27.80
	Estiércol Precompostado	3	25.3333	.55076	.31798	23.9652	26.7015	24.80	25.90
	Total	12	22.2500	4.70039	1.35688	19.2635	25.2365	15.40	27.80

Cuadro 5. Análisis Descriptivo del Análisis Químico de los Métodos de Compostaje

Descriptivos

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
pH	Compost Vegetal Seco	3	7.3333	.15275	.08819	6.9539	7.7128	7.20	7.50
	Compost Vegetal Fresco	3	7.6333	.11547	.06667	7.3465	7.9202	7.50	7.70
	Estiércol Vacuno Fresco	3	8.0333	.11547	.06667	7.7465	8.3202	7.90	8.10
	Estiércol Precompostado	3	8.1667	.05774	.03333	8.0232	8.3101	8.10	8.20
	Total	12	7.7917	.35792	.10332	7.5643	8.0191	7.20	8.20
MO	Compost Vegetal Seco	3	17.3233	.46112	.26623	16.1778	18.4688	16.80	17.67
	Compost Vegetal Fresco	3	11.9333	.20429	.11795	11.4259	12.4408	11.70	12.08
	Estiércol Vacuno Fresco	3	67.3133	4.60006	2.65584	55.8862	78.7405	62.30	71.34
	Estiércol Precompostado	3	62.3833	2.12740	1.22826	57.0986	67.6681	60.20	64.45
	Total	12	39.7383	26.45418	7.63667	22.9301	56.5465	11.70	71.34
CO	Compost Vegetal Seco	3	10.3933	.27592	.15930	9.7079	11.0788	10.08	10.60
	Compost Vegetal Fresco	3	7.1533	.11719	.06766	6.8622	7.4444	7.02	7.24
	Estiércol Vacuno Fresco	3	41.0533	3.71054	2.14228	31.8358	50.2708	37.38	44.80
	Estiércol Precompostado	3	37.4067	1.24263	.71743	34.3198	40.4935	36.12	38.60
	Total	12	24.0017	16.09439	4.64605	13.7758	34.2276	7.02	44.80
AH	Compost Vegetal Seco	3	1.6767	.07506	.04333	1.4902	1.8631	1.60	1.75
	Compost Vegetal Fresco	3	1.8067	.02082	.01202	1.7550	1.8584	1.79	1.83
	Estiércol Vacuno Fresco	3	4.3133	.01528	.00882	4.2754	4.3513	4.30	4.33
	Estiércol Precompostado	3	4.2067	.01528	.00882	4.1687	4.2446	4.19	4.22
	Total	12	3.0008	1.31707	.38021	2.1640	3.8377	1.60	4.33
CIC	Compost Vegetal Seco	3	23.4333	1.00167	.57831	20.9451	25.9216	22.40	24.40
	Compost Vegetal Fresco	3	16.7500	.72629	.41932	14.9458	18.5542	16.00	17.45
	Estiércol Vacuno Fresco	3	30.1567	.59802	.34527	28.6711	31.6422	29.50	30.67
	Estiércol Precompostado	3	27.4900	.58506	.33779	26.0366	28.9434	26.90	28.07
	Total	12	24.4575	5.31597	1.53459	21.0799	27.8351	16.00	30.67
N	Compost Vegetal Seco	3	1.3667	.15275	.08819	.9872	1.7461	1.20	1.50
	Compost Vegetal Fresco	3	1.5667	.20817	.12019	1.0496	2.0838	1.40	1.80
	Estiércol Vacuno Fresco	3	2.3667	.25166	.14530	1.7415	2.9918	2.10	2.60
	Estiércol Precompostado	3	3.5000	.10000	.05774	3.2516	3.7484	3.40	3.60
	Total	12	2.2000	.89035	.25702	1.6343	2.7657	1.20	3.60
P	Compost Vegetal Seco	3	4.0333	1.00167	.57831	1.5451	6.5216	3.00	5.00
	Compost Vegetal Fresco	3	2.5000	.45826	.26458	1.3616	3.6384	2.10	3.00
	Estiércol Vacuno Fresco	3	7.5000	.40000	.23094	6.5063	8.4937	7.10	7.90
	Estiércol Precompostado	3	8.0333	.20817	.12019	7.5162	8.5504	7.80	8.20
	Total	12	5.5167	2.47784	.71529	3.9423	7.0910	2.10	8.20
K	Compost Vegetal Seco	3	20.8000	.62450	.36056	19.2487	22.3513	20.30	21.50
	Compost Vegetal Fresco	3	15.6333	.20817	.12019	15.1162	16.1504	15.40	15.80
	Estiércol Vacuno Fresco	3	27.2333	.66583	.38442	25.5793	28.8874	26.50	27.80
	Estiércol Precompostado	3	25.3333	.55076	.31798	23.9652	26.7015	24.80	25.90
	Total	12	22.2500	4.70039	1.35688	19.2635	25.2365	15.40	27.80

Cuadro 6. Comparaciones Múltiples de los Métodos de Compostajes

6.1 Comparaciones Múltiples de pH, Materia Orgánica, Carbono Orgánico en los Métodos de Compostajes

Comparaciones múltiples							Intervalo de confianza al 95%	
Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Limite inferior	Limite superior	
pH	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	-.30000	.09428	.051	-.6019	.0019
			Estiércol Vacuno Fresco	-.70000*	.09428	.000	-1.0019	-.3981
			Estiércol Precompostado	-.83333*	.09428	.000	-1.1353	-.5314
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	.30000	.09428	.051	-.0019	.6019
			Estiércol Vacuno Fresco	-.40000*	.09428	.012	-.7019	-.0981
			Estiércol Precompostado	-.53333*	.09428	.002	-.8353	-.2314
	Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	.70000*	.09428	.000	.3981	1.0019
			Compost Vegetal Fresco	.40000*	.09428	.012	.0981	.7019
			Estiércol Precompostado	-.13333	.09428	.525	-.4353	.1686
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	.83333*	.09428	.000	.5314	1.1353
			Compost Vegetal Fresco	.53333*	.09428	.002	.2314	.8353
			Estiércol Vacuno Fresco	.13333	.09428	.525	-.1686	.4353
MO	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	5.39000	2.07929	.118	-1.2686	12.0486
			Estiércol Vacuno Fresco	-49.99000*	2.07929	.000	-56.6486	-43.3314
			Estiércol Precompostado	-45.06000*	2.07929	.000	-51.7186	-38.4014
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	-5.39000	2.07929	.118	-12.0486	1.2686
			Estiércol Vacuno Fresco	-55.38000*	2.07929	.000	-62.0386	-48.7214
			Estiércol Precompostado	-50.45000*	2.07929	.000	-57.1086	-43.7914
	Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	49.99000*	2.07929	.000	43.3314	56.6486
			Compost Vegetal Fresco	55.38000*	2.07929	.000	48.7214	62.0386
			Estiércol Precompostado	4.93000	2.07929	.161	-1.7286	11.5886
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	45.06000*	2.07929	.000	38.4014	51.7186
			Compost Vegetal Fresco	50.45000*	2.07929	.000	43.7914	57.1086
			Estiércol Vacuno Fresco	-4.93000	2.07929	.161	-11.5886	1.7286
CO	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	3.24000	1.60219	.257	-1.8908	8.3708
			Estiércol Vacuno Fresco	-30.66000*	1.60219	.000	-35.7908	-25.5292
			Estiércol Precompostado	-27.01333*	1.60219	.000	-32.1441	-21.8825
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	-3.24000	1.60219	.257	-8.3708	1.8908
			Estiércol Vacuno Fresco	-33.90000*	1.60219	.000	-39.0308	-28.7692
			Estiércol Precompostado	-30.25333*	1.60219	.000	-35.3841	-25.1225
	Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	30.66000*	1.60219	.000	25.5292	35.7908
			Compost Vegetal Fresco	33.90000*	1.60219	.000	28.7692	39.0308
			Estiércol Precompostado	3.64667	1.60219	.183	-1.4841	8.7775
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	27.01333*	1.60219	.000	21.8825	32.1441
			Compost Vegetal Fresco	30.25333*	1.60219	.000	25.1225	35.3841
			Estiércol Vacuno Fresco	-3.64667	1.60219	.183	-8.7775	1.4841

*. La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

6.2 Comparaciones Múltiples de AH y CIC en los Métodos de Compostajes

Comparaciones múltiples							Intervalo de confianza al 95%	
Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Limite inferior	Limite superior	
AH	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	-.13000*	.03300	.018	-.2357	-.0243
			Estiércol Vacuno Fresco	-2.63667*	.03300	.000	-2.7423	-2.5310
			Estiércol Precompostado	-2.53000*	.03300	.000	-2.6357	-2.4243
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	.13000*	.03300	.018	.0243	.2357
			Estiércol Vacuno Fresco	-2.50667*	.03300	.000	-2.6123	-2.4010
			Estiércol Precompostado	-2.40000*	.03300	.000	-2.5057	-2.2943
	Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	2.63667*	.03300	.000	2.5310	2.7423
			Compost Vegetal Fresco	2.50667*	.03300	.000	2.4010	2.6123
			Estiércol Precompostado	.10667*	.03300	.048	.0010	.2123
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	2.53000*	.03300	.000	2.4243	2.6357
			Compost Vegetal Fresco	2.40000*	.03300	.000	2.2943	2.5057
			Estiércol Vacuno Fresco	-.10667*	.03300	.048	-.2123	-.0010
CIC	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	6.68333*	.60975	.000	4.7307	8.6360
			Estiércol Vacuno Fresco	-6.72333*	.60975	.000	-8.6760	-4.7707
			Estiércol Precompostado	-4.05667*	.60975	.001	-6.0093	-2.1040
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	-6.68333*	.60975	.000	-8.6360	-4.7307
			Estiércol Vacuno Fresco	-13.40667*	.60975	.000	-15.3593	-11.4540
			Estiércol Precompostado	-10.74000*	.60975	.000	-12.6926	-8.7874
	Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	6.72333*	.60975	.000	4.7707	8.6760
			Compost Vegetal Fresco	13.40667*	.60975	.000	11.4540	15.3593
			Estiércol Precompostado	2.66667*	.60975	.010	.7140	4.6193
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	4.05667*	.60975	.001	2.1040	6.0093
			Compost Vegetal Fresco	10.74000*	.60975	.000	8.7874	12.6926
			Estiércol Vacuno Fresco	-2.66667*	.60975	.010	-4.6193	-.7140

*. La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

6.3 Comparaciones Múltiples de N, P, K en los Métodos de Compostajes

Comparaciones múltiples

Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
N	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	-.20000	.15275	.583	-.6892	.2892
			Estiércol Vacuno Fresco	-1.00000*	.15275	.001	-1.4892	-.5108
			Estiércol Precompostado	-2.13333*	.15275	.000	-2.6225	-1.6442
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	.20000	.15275	.583	-.2892	.6892
			Estiércol Vacuno Fresco	-.80000*	.15275	.003	-1.2892	-.3108
			Estiércol Precompostado	-1.93333*	.15275	.000	-2.4225	-1.4442
		Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	1.00000*	.15275	.001	.5108	1.4892
			Compost Vegetal Fresco	.80000*	.15275	.003	.3108	1.2892
			Estiércol Precompostado	-1.13333*	.15275	.000	-1.6225	-.6442
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	2.13333*	.15275	.000	1.6442	2.6225
			Compost Vegetal Fresco	1.93333*	.15275	.000	1.4442	2.4225
			Estiércol Vacuno Fresco	1.13333*	.15275	.000	.6442	1.6225
P	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	1.53333	.48591	.053	-.0227	3.0894
			Estiércol Vacuno Fresco	-3.46667*	.48591	.000	-5.0227	-1.9106
			Estiércol Precompostado	-4.00000*	.48591	.000	-5.5561	-2.4439
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	-1.53333	.48591	.053	-3.0894	.0227
			Estiércol Vacuno Fresco	-5.00000*	.48591	.000	-6.5561	-3.4439
			Estiércol Precompostado	-5.53333*	.48591	.000	-7.0894	-3.9773
		Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	3.46667*	.48591	.000	1.9106	5.0227
			Compost Vegetal Fresco	5.00000*	.48591	.000	3.4439	6.5561
			Estiércol Precompostado	-5.33333	.48591	.701	-2.0894	1.0227
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	4.00000*	.48591	.000	2.4439	5.5561
			Compost Vegetal Fresco	5.53333*	.48591	.000	3.9773	7.0894
			Estiércol Vacuno Fresco	.53333	.48591	.701	-1.0227	2.0894
K	HSD de Tukey	Compost Vegetal Seco	Compost Vegetal Fresco	5.16667*	.44347	.000	3.7465	6.5868
			Estiércol Vacuno Fresco	-6.43333*	.44347	.000	-7.8535	-5.0132
			Estiércol Precompostado	-4.53333*	.44347	.000	-5.9535	-3.1132
		Compost Vegetal Fresco	Compost Vegetal Seco	-5.16667*	.44347	.000	-6.5868	-3.7465
			Estiércol Vacuno Fresco	-11.60000*	.44347	.000	-13.0202	-10.1798
			Estiércol Precompostado	-9.70000*	.44347	.000	-11.1202	-8.2798
		Estiércol Vacuno Fresco	Compost Vegetal Seco	6.43333*	.44347	.000	5.0132	7.8535
			Compost Vegetal Fresco	11.60000*	.44347	.000	10.1798	13.0202
			Estiércol Precompostado	1.90000*	.44347	.011	.4798	3.3202
		Estiércol Precompostado	Compost Vegetal Seco	4.53333*	.44347	.000	3.1132	5.9535
			Compost Vegetal Fresco	9.70000*	.44347	.000	8.2798	11.1202
			Estiércol Vacuno Fresco	-1.90000*	.44347	.011	-3.3202	-.4798

*. La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

Elaboración de las composteras



Formación de las capas de las composteras



Volteo de las composteras



Montaje de las composteras



Establecimiento de las canoas de lombrihumus





GLOSARIO

Ácidos fúlvicos: es la fracción de las sustancias húmicas soluble tanto en medio alcalino como en medio ácido.

Ácidos húmicos: es la fracción de las sustancias húmicas soluble en medio alcalino e insoluble en medio ácido.

Alifáticos: compuestos orgánicos cuyas moléculas no son cerradas.

Biodegradable: material orgánico complejo capaz de ser descompuesto por microorganismos en compuestos químicos simples. Los productos finales del compost son dióxido de carbono (CO₂), agua, compuestos de amoníaco y sales minerales.

Carbohidratos.: Compuestos orgánicos que contienen en su molécula C, H y O. Son polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas. El contenido en H y O se encuentra en la misma proporción que en el agua. Se les denomina también Glúcidos. Los azúcares son carbohidratos.

Carácter fenólico: Carácter químico característico de los compuestos orgánicos que tienen ligado directamente a un oxidrilo (OH) a un carbono de un anillo bencénico.

Celulosa: es un polisacárido, polímero de la glucosa, componente principal de las paredes celulares de las células vegetales. Material básico de construcción de las fibras vegetales

Cíclicos: Compuestos orgánicos cuyos átomos forman moléculas en forma de anillos cerrados.

Criófilos: Grupo de microorganismos que trabajan desde menos 18 grados Celsius hasta 13 grados Celsius en el proceso de transformación de la Materia Orgánica.

Compuestos Aromáticos: Compuestos orgánicos derivados del benceno. Es decir, que contienen en su molécula estructuras cíclicas.

Compostaje: Proceso biológico de transformación de la materia orgánica a humus, a través de una descomposición aeróbica y producción de calor.

Compost: Producto resultante del proceso de compostaje, es la materia orgánica estabilizada.

Enlace covalente: Tipo de enlace químico resistente característico de los compuestos orgánicos.

Enzima: es un biocatalizador de naturaleza proteica, facilita la descomposición de moléculas orgánicas complejas en moléculas más simples.

Fenoles: Es un compuesto orgánico aromático de fórmula C_6H_5OH . Es débilmente ácido y se asemeja a los alcoholes en su estructura. Es soluble en disolventes orgánicos y ligeramente solubles en agua a temperatura ambiente, pero por encima de los $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ es soluble en todas proporciones.

Humificación: Se refiere a la formación de sustancias húmicas, que en general se describen como humus y que se forman durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Humus: producto más o menos estable de la descomposición de la materia orgánica, especialmente de la fracción leñosa, enriquecida con nitrógeno, fósforo y calcio.

Inorgánico: sustancia mineral. Un compuesto químico carente de átomos de carbono

Leonardito: Es una forma oxidada del carbón de origen lignítico formada principalmente por sales de ácidos húmicos. Es un material de color marrón parecido al carbón blando.

Lignina: polisacárido asociado a la celulosa de sustentación de los vegetales. Posee gran resistencia a la tracción. Las fibras son de lignina

Lignito: Carbón orgánico de alto poder calórico y con 80% de ácidos húmicos.

Lombricultura: Biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica.

Lombricompost: Proceso biológico de transformación de la materia orgánica a humus, a través de una descomposición aeróbica realizada principalmente por lombrices.

Materia Orgánica: Materiales diversos que pertenecieron o formaron parte de organismos vivos o fueron producidos por ellos y que se utilizan como materia prima para alimentar a las poblaciones de lombrices y producir el Humus de Lombrices.

Mineralización: Proceso de transformación de la materia orgánica en sustancias minerales.

Metabolismo: Conjunto de las reacciones bioquímicas que tiene lugar en seres vivos.

Polifenoles. Compuestos orgánicos cíclicos que contienen en su molécula diversos oxidrilos (OH) unidos directamente a carbonos del anillo.

Poder quelante. Capacidad de un compuesto de englobar en su molécula átomos de metales alcalinotérreos y/o pesados, evitando su insolubilización.

Quelato: Es un compuesto orgánico de origen natural o sintético, que puede combinarse con un catión metálico y lo acompleja, formando una estructura heterocíclica evitando su insolubilización.

Quinonas: Pigmentos orgánicos caracterizados por ciertas semejanzas estructurales que les proporcionan sus colores brillantes normalmente rojo, amarillo o anaranjado. Químicamente presentan estructuras cíclicas que incluyen dos dobles enlaces carbono-oxígeno. Las quinonas existen de forma natural en plantas, hongos y bacterias, e incluso algunas se encuentran en los animales, como la vitamina K, que participa en la coagulación sanguínea. Las quinonas se utilizan en tintes, reveladores fotográficos, medicinas, fungicidas y otros productos. La mayoría son tóxicas.

Relación C/N: es la cantidad de carbono con respecto al nitrógeno, esto es una relación 2:1 significa que hay dos veces más carbono que nitrógeno. Las bacterias como todos los organismos vivos, requieren bastante carbono y menos nitrógeno. Asegurándoles materiales orgánicos que suministren estos dos elementos en la proporción correcta, las bacterias prosperan, crecen y se multiplican. Por lo que pueden descomponer la pila de compost a una mayor velocidad.