

**“ANALISIS DE LOMBRICOMPUESTOS A PARTIR DE
DIFERENTES SUSTRATOS”**

JUAN CARLOS CASTILLO TACO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE AGRONOMIA - ESCUELA DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACION EN CULTIVOS PERENNES INDUSTRIALES
2010**

**“ANALISIS DE LOMBRICOMPUESTOS A PARTIR DE
DIFERENTES SUSTRATOS”**

JUAN CARLOS CASTILLO TACO

**Trabajo presentado como requisito para optar
al título de Especialista en Cultivos Perennes Industriales**

Director

JAIME TORRES BAZURTO MSc.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE AGRONOMIA - ESCUELA DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACION EN CULTIVOS PERENNES INDUSTRIALES
2010**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	8
1. OBJETIVOS	10
1.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
2.2 JUSTIFICACIÓN	12
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1 GENERALIDADES	13
3.2 LOMBRICES	13
3.3 FUENTE DE ALIMENTO	15
3.3.1 Origen Vegetal	18
3.3.2 Origen Animal	18
3.4 ELABORACIÓN DE SUSTRATOS	20
3.4.1 Humedad	20
3.4.2 Temperatura	21
3.4.3 pH	21
3.5 RESIDUOS	22
3.6 PROCESO DEGRADATORIO DE LA MATERIA ORGÁNICA, DINÁMICA Y FACTORES INFLUYENTES	24
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	26
4.2 SUSTRATOS UTILIZADOS	27
4.3 MONTAJE DEL EXPERIMENTO	28
4.4 VALORACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	31
4.4.1 pH.	31

	Pág.
4.4.2 Temperatura	31
4.4.3 CO ₂	31
4.5 OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LAS LOMBRICES	31
4.6 TOMA DE MUESTRAS PARA LABORATORIO	32
4.7 EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN DE LOMBRICES DESPUÉS DEL ENSAYO	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1 Ph DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	34
5.2 TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DEL LOMBRICOMPOSTAJE	37
5.3 CO ₂ DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	39
5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS LOMBRICES DURANTE EL ENSAYO	43
5.5 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	47
5.5.1 Análisis de los resultados obtenidos	48
6. CONCLUSIONES	53
7. RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tratamientos diseñados en el ensayo	26
Tabla 2. Valores de pH	34
Tabla 3. Valores de temperatura	37
Tabla 4. Valores de CO ₂	40
Tabla 5. Tabla de interpretación para la estabilidad del compost.	43
Tabla 6. Comportamiento de las lombrices frente al sustrato suministrado	44
Tabla 7. Peso de lombrices y N ^o de cocones después de un mes de iniciado el ensayo	46
Tabla 8. Resultados de las muestras de laboratorio	48
Tabla 9. Valores típicos de abonos orgánicos, Costa Rica	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Lechos para ubicar los diferentes sustratos	29
Figura 2. Montaje de pilas de sustratos en proceso de compostaje	30
Figura 3. Ubicación de los tratamientos en el sitio de estudio	30
Figura 4. Ubicación inicial de las lombrices sobre los sustratos	32
Figura 5. Valores promedio de pH en los sustratos utilizados	34
Figura 6. Valores promedio de temperatura en los sustratos utilizados	38
Figura 7. Valores promedio de CO ₂ en los sustratos utilizados	40

RESUMEN

Se llevo a cabo un ensayo con diferentes sustratos como alimento de lombriz roja californiana *Eiseinia foetida* con el fin de evaluar cual de los diferentes sustratos ofrecía un mejor producto (lombricompost) final y a la vez se pretendió obtener una forma fácil de determinar cuando el lombricompost estaba listo para ser utilizado. El trabajo se realizo en el Municipio de Codazzi, Cesar, Colombia situado a 180 m.s.n.m, temperatura promedio de 28 °C y una humedad relativa entre 60 a 65%. Los resultados obtenidos mostraron que los sustratos no muestran diferencia entre ellos en cuanto a la calidad del producto final pero si evidencian una gran influencia sobre el comportamiento y la supervivencia de las lombrices, ya que algunos de estos sustratos afectan el normal desarrollo de las mismas, especialmente en la reproducción. Tal vez, una forma de determinar si el lombricompost esta listo, es el contenido de CO₂ del producto final obtenido, obviamente unido a temperaturas bajas estables.

SUMMARY

It conducted a trial with different substrates as food *Eiseinia foetida* Californian red worm in order to assess which of the different substrates was a better product (vermicompost) final and simultaneously tried to get an easy way to determine when the vermicompost was ready for use. The work was conducted in the municipality of Codazzi, Cesar, Colombia situated at 180 meters, average temperature of 28 ° C and a relative humidity between 60 to 65%. The results showed that the substrates show no difference between them in terms of final product quality but show a great influence on behavior and survival of the worms, as some of these substrates affect the normal development of these relations, especially in reproduction. Perhaps one way to determine if the vermicompost is ready, is the CO₂ content of the final product obtained, obviously linked to stable low temperatures.

INTRODUCCION

La lombricultura es una biotecnología que utiliza una especie domesticada de lombriz como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz (SEGADE, 2006).

El lombricompost es un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción. Su elevada solubilización, debido a la composición enzimática y bacteriana, proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas (SEGADE, 2006).

El vermicompost contiene cuatro veces más nitrógeno, veinticinco veces más fósforo, y dos veces y media más potasio que el mismo peso del estiércol de bovino (Sanchez, Ramiro, 2008).

El humus de lombriz es un fertilizante de primer orden, protege al suelo de la erosión, siendo un mejorador de las características físico-químicas del suelo, de su estructura (haciéndola más permeable al agua y al aire), aumentando la retención hídrica, regulando el incremento y la actividad de los nitritos del suelo, y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas de forma equilibrada (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y boro) (Fernández y Hernandez, 2006).

El Humus se obtiene luego de un proceso, cercano a un año, en que la lombriz recicla a través de su tracto intestinal la materia orgánica, comida y defecada, por otras lombrices (Fernández y Hernandez, 2006).

Hay que resaltar que un alto porcentaje de los componentes químicos del humus son proporcionados, no por el proceso digestivo de las lombrices, sino por la actividad microbiana que se lleva a cabo durante el periodo de reposo que éste tiene dentro del lecho. Por ejemplo, el 50% del total de los ácidos húmicos que contiene el humus, son proporcionados durante el proceso digestivo y el 50% restante durante el período de reposo o maduración (Fernández y Hernandez, 2006).

Cuando la cosecha del lecho es prematura, se obtendrá vermicompost o worm castings, que todavía no es humus. Normalmente esto es lo que se comercializa en los mercados locales y de ahí que en muchas ocasiones no se presenten los resultados que se esperan del aporte de materia orgánica, ya que en vez de ejercer un efecto beneficio, se está haciendo lo contrario, debido a que los microorganismos presentes en estos lombricompuestos empiezan a consumir el nitrógeno presente en esta materia orgánica, disminuyendo disponibilidad de este elemento a las plantas, de ahí que se presenten problemas de clorosis en las plantas que reciben este tipo de materia orgánica.

Lo anterior se puede presentar por el tipo de sustrato que sirve de alimento a las lombrices o también por que no existe claridad sobre el tiempo que se necesita para que este producto se encuentre lo suficientemente “maduro” para ser utilizado. Este producto, en ocasiones es cosechado del lecho, sin tener un parámetro técnico previamente establecido, simplemente cuando se llena el lecho, el producto es utilizado.

Con el presente trabajo se intenta hacer un acercamiento a una metodología para identificar claramente cuando el producto se encuentra listo para ser utilizado y a la vez se quiere cuantificar en cuanto tiempo el lombricompuesto se encuentra en estado ideal para ser llevado a campo sin ocasionar desordenes en las plantas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los lombricompuestos obtenidos a partir de diferentes sustratos

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar las características físico químicas de lombricompuestos obtenidos de diferentes sustratos

Identificar el tiempo en el cual un lombricompuesto esta listo para ser utilizado

Describir las características físico químicas y biológicas de un lombricompuesto listo para ser utilizado

2. FORMULACION DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A pesar de que existen muchos criaderos comerciales de lombrices, debido a los diferentes sustratos que se utilizan como alimento, el producto final (lombricompuesto) posee características diferentes entre uno y otro.

Actualmente no existe una metodología estandarizada para saber cual es el estado óptimo (madurez) de un lombricompuesto para poder ser utilizado. No se conocen los parámetros ideales para su uso y posterior comercialización. Es decir no se conocen las características físicas y químicas de estos lombricompuestos para utilizarlos sin que se cause problemas en las plantas que lo están utilizando.

Si bien el “lombricompuesto” es de origen orgánico, también se puede considerar como un acondicionador de suelo, que aporta nutrientes y por lo tanto este se puede comparar con un fertilizante sintético basado en tres características principales: humedad y variabilidad, elementos nutritivos y nutrientes no equilibrados.

Dado que el efecto de un lombricompuesto inmaduro o no estabilizado puede ser negativo para el desarrollo de las plantas, se hace necesario determinar las características inherentes a este producto y el tiempo que requiere para lograr la madurez, tomando en cuenta como es lógico la forma, tamaño y ubicación en la infraestructura para producir este producto, al igual que el tipo de lombriz y características de la misma.

2.2 JUSTIFICACIÓN

Según Corpocesar, en el departamento del Cesar existen aproximadamente un 60% de suelos considerados como desérticos, es decir tienen niveles de materia orgánica menor al 1%. Por lo tanto, trabajar con lombrices, permitiría una producción adecuada de un producto conocido como humus, que ayudara a estabilizar y mejorar los suelos antes mencionados. El humus, aparte de proporcionar nutrientes, servirá como un “buffer” que ayuda a una retención mayor de agua, elemento escaso en esta zona en mención.

La respuesta de los lombricompuestos depende del sustrato que reciben las lombrices como alimento y del tiempo que este permanece en el lecho de producción, por eso se hace necesario analizar el lombricompuesto que se obtiene en un programa de lombricultura. Se debe analizar las características físicas y químicas ya que al parecer, la materia prima que pasa a través del tracto digestivo de las lombrices, una vez finalizado el ciclo, cambia en el aspecto físico como químico. Estas características parecen estar determinadas por el tiempo que permanece el lombricompuesto en el lecho de producción del mismo, por lo tanto es importante saber cual es el tiempo ideal para poder “cosecharlo” y también para utilizarlo.

3. MARCO TEORICO

3.1 GENERALIDADES

La lombricultura es una técnica simple, racional y económica que permite aprovechar los desechos orgánicos, mediante la crianza intensiva de lombrices, capaces de transformar estos en humus y en una fuente valiosa de proteína (Acosta y Brand, 1992).

A través de la lombricultura se pretenden rescatar todos los recursos que se pierden. La palabra basura o deshecho es nada más que sinónimo de desconocimiento, ya que existen tecnologías para aprovecharlos y la lombricultura es una de ellas (Acosta y Brand, 1992).

Aparte de tener una densidad de lombrices adecuada en un programa de lombricultura, también deben existir condiciones ambientales y de infraestructura física en óptimas condiciones. Dentro de la primera esta la temperatura, por lo tanto es importante que tenga sombra natural o artificial, pues el sol directo y las lluvias son perjudiciales. Pero quizás uno de los factores de éxito de un lombricultivo es la alimentación de las mismas.

3.2 LOMBRICES

La producción comercial se debe manejar como cualquier tipo de producción animal, con las ventajas de que no contraen enfermedades y tienen fácil manejo de producción (Geler, Abraham, s.f.).

La lombriz de tierra es un animal omnívoro, es decir que come de todo: animales, vegetales y minerales. Cuando la lombriz cava túneles en el suelo blando y

húmedo, succiona o chupa la tierra y digiere de ella las partículas vegetales o animales en descomposición, expulsando los elementos no digeribles y los residuos metabólicos, que son los que forman el humus (Geler, Abraham, s.f.).

Las lombrices deben ser rusticas, que toleren contenidos elevados de materia orgánica, sean resistentes a tenores bajos de oxígeno y niveles altos de dióxido de carbono, capaz de soportar rangos amplios de pH, temperatura y humedad. Simultáneamente se requiere un animal confinable, que no muestre preferencia por el suelo (sea epigea, es decir del estrato de la hojarasca), posea un metabolismo elevado (debe ser pequeña a mediana), con gran capacidad de apiñamiento (la cantidad de materia orgánica procesada se relaciona directamente con la cantidad de lombrices por unidad de superficie/ volumen), con una elevada tasa de acoplamiento y fecundidad que realice un potencial reproductor importante y en condiciones de manejo no siempre situadas en el óptimo para la especie (Schuldt, 2004).

En el marco de estos requerimientos, son muy pocas las especies que proveen el perfil adecuado: *Glossoscolecidae*, *Dendrobaena veneta*, *Amyntas sp.*, *Pheretima sp.*, *Polypheretima elongata*, *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae*, *Lumbricus rubellus* y *Eisenia foetida*. Un listado que según las condiciones ambientales y climáticas imperantes, experimenta bajas (Schuldt, 2004).

La familia de los Glososcolecidos (con especies del género *Glossoscolex*) es potencialmente interesante para el cultivo en el trópico pero aun falta investigación. *Dendrobaena veneta* es posiblemente la menos apta del listado por ser poco prolífica, de crecimiento lento y poco tolerante a cambios térmicos. *Amyntas sp.*, *Pheretima sp.* y *Polypheretima elongata* tiene el inconveniente de no soportar temperaturas de inviernos moderados. *Perionyx excavatus* es una especie común en el trópico de Asia. Es muy prolífica pero de difícil conducción. Posiblemente esta especie posea las condiciones óptimas cuando interesa la producción de carne (proteínas) (Schuldt, 2004).

La dupla *Lumbricus rubellus* y *Eisenia foetida* presenta dos especies con características muy semejantes en cuanto a su aptitud para ser cultivadas, no obstante solo *E. foetida* ha sido motivo de investigación tanto a escala de laboratorio como de campo, al punto que, sin duda, esta es la más utilizada en vermicultivos, desde las regiones frías hasta el trópico (Schuldt, 2004).

Hoy en día esta última es la especie más utilizada (*Eisenia foetida*), o lombriz roja californiana, la cual consume diariamente una cantidad de residuos equivalente, prácticamente, a su propio peso. Esta especie requiere de altas concentraciones de materia orgánica como medio de vida y alimentación, por lo que no sobreviven mucho tiempo en suelos con bajos porcentajes de materia orgánica (Geler, Abraham, s.f.).

Aunque un mismo individuo tiene ambos sexos se reproduce por fertilización cruzada, donde ambos ponen un capullo, llamado cocón, cada 10 - 30 días. Cada capullo contiene de 2 a 10 lombrices que emergen a los 21 días, siendo individuos juveniles, que no podrán reproducirse hasta los 3 - 4 meses, cuando pasan a ser adultas (Geler, Abraham, s.f.).

Las condiciones ambientales para un óptimo desarrollo son una temperatura de 19 a 20 °C, con una humedad del 80%, un pH de desarrollo entre 6.5 y 7.5 y con baja luminosidad, ya que teme a la luz, pues los rayos ultravioleta las matan. En estas condiciones óptimas, una lombriz produce unas 1.000 lombrices por año que producen el 60% de la ingesta en forma de humus (Geler, Abraham, s.f.).

3.3 FUENTE DE ALIMENTO

La alimentación de las lombrices es de materia orgánica en descomposición. Las lombrices requieren que el sustrato se encuentre en forma pastosa, que les permita succionar las porciones a digerir. Además ellas se alimentan de materiales en descomposición y no de materiales frescos. Por esto es necesario dejar que el

desecho orgánico se descomponga 3 a 4 días antes de que pueda ser ingerido por la lombriz (Soto, 2003).

Cuando se habla de alimento para lombrices, necesariamente hay que hablar de compostaje. En un programa de lombricultura se debe tener claro que el desarrollo de las mismas requiere atender dos etapas en el tratamiento de la materia orgánica: una de compostaje natural, sin intervención de lombrices y otra; de vermicompostaje, que se inicia tras introducir lombrices en la materia orgánica compostada naturalmente (Schuldt, 2004).

El proceso de compostaje natural hasta la formación de humus requiere un tiempo considerable (años en algunos casos) que no estamos dispuestos a esperar, de modo que en el marco de la lombricultura el tiempo de compostaje al que se va a someter la materia orgánica será de 45 a 90 días. La calidad del abono (humus) a obtener se relaciona directamente con la selección (tipo) de materia orgánica, su estado, acondicionamiento y tratamiento. Una elección inadecuada nos proporcionara un alimento que las lombrices podrán mejorar, pero sin llegar al óptimo (Schuldt, 2004).

El alimento a suministrar a las lombrices debe proceder de una materia orgánica de generación reciente, compostada en el marco de un proceso aeróbico, con humedad adecuada, en lo posible sin formación de cenizas durante la fase de elevación térmica. Se debe asegurar que la materia orgánica no posea riesgo biológico (virus, bacterias patógenas, forma de resistencias de protozoos, de helmintos parásitos, nematodos) ni poluentes de índole química (metales pesados como plomo, mercurio, cadmio, cromo, níquel, zinc etc.) (Schuldt, 2004).

Según (Gómez, 2000), los procesos generan desperdicios de masa y/o energía. Los procesos que involucran biomasa generan residuos orgánicos. De manera aproximada, los residuos orgánicos se pueden agrupar en cuatro categorías: los urbanos, los agroindustriales, los agropecuarios y los de los cuerpos de agua.

(Gómez, 2000), dice que, los residuos provenientes de la circunstancia de la vivienda del hombre, denominados genéricamente como urbanos, son en esencia tres:

- Las basuras, en donde lo orgánico (residuos de cocina, papel) esta mezclado con metales y lo difícilmente descomponible (plástico).
- Los materiales resultantes del mantenimiento de las zonas verdes (cortes de prado, ramas de árboles y arbustos, etc.).
- Los lodos de plantas depuradoras de las aguas servidas.

Los residuos agroindustriales constituyen una fuente concentrada de materiales, que además van en aumento con los procesos de modernización de la sociedad.

Entre los más importantes están:

- Industria del azúcar: cachaza, bagazo y bagacillo
- Industria del café: cisco de café
- Trilladoras de café: pergamino de café
- Industria del aceite de palma: raquis del racimo, fibra, lodos de lagunas de oxidación, cachaza
- Industria del arroz: cascarilla de arroz
- Plantas de sacrificio animal: contenido ruminal y otros contenidos estomacales
- Industria de champiñones: champiñonaza
- Industria de jugos y frutas: diversas y cáscaras y semillas
- Industria maderera: chips o astillitas, aserrín y virutas de madera
- Industria cervecera: lodos
- Industria del coco: fibra de coco (Gomez, 2000).

Los residuos agropecuarios se generan en las unidades de producción en finca o hacienda. Para Colombia, los principales son:

Residuos pecuarios. Los principales son todos los estiércoles como:

- Bovinaza o boñiga

- Gallinaza
- Porquinaza
- Conejaza, cuyasa, equinaza

Acosta y Brand, (1992), denominan “materias primas” a los materiales que se emplean para elaborar las pilas que van a servir de alimento a la lombriz y hacen una clasificación mas genérica: de origen vegetal y origen animal

3.3.1 Origen vegetal. En este caso se emplean las cáscaras de frutas y verduras, hojas, tallos de plantas arvenses, bagazo de caña, pencas y cáscaras de guineo, ramas y hojas de toda clase, aserrín y virutas, broza de café y otros granos, camas de establos, tusa, caña de maíz (Acosta y Brand, 1992).

3.3.2 Origen animal . Generalmente se conocen como estiércoles. Se usan estiércoles de toda clase de animales, orines, huesos pulverizados, plumas de aves etc. Aquí no se incluye la gallinaza por ser un recurso que tiene mucho valor comercial y por que además en el lecho produce gas metano que es letal para la lombriz.

El estiércol esta constituido por las deyecciones de los animales mezclados o no con las sustancias que les sirven de lecho o cama (Acosta y Brand, 1992).

3.3.2.1 Estiércoles. El estiércol es uno de los residuos orgánicos más importantes para la agricultura. Por su uso, parte de la porción no utilizable de los cultivos puede entrar en el suelo para ejercer allí una acción mas importante de lo que pudiera creerse por su contenido nutriente (Parra, 2008).

La palabra estiércol se emplea para los desechos de todos los animales de la finca, aunque como regla general, la mayor parte del estiércol que moderadamente se coloca en el suelo esta producido por el ganado vacuno. El

estiércol consta de dos componentes originarios, el sólido y el líquido, en una relación aproximada de 3 a 1. Por lo general, un poco más de la mitad del nitrógeno total, casi todo el fósforo en forma de ácido fósfórico y alrededor de dos quintos de potasio se hallan en el estiércol sólido. Además del contenido de Nitrógeno, fósforo y potasio, el estiércol contiene también calcio, magnesio, azufre y probablemente todos los oligoelementos, estos últimos de gran importancia. En algunos casos para mantener el equilibrio de la condición de los nutrientes en los suelos tratados con estiércol. (Buckman *et al*, 1997, citado por Parra, 2008).

3.3.2.1.1 Características del Estiércol. Como el estiércol es esencialmente un fertilizante, es lógico compararlo con los fertilizantes comerciales mezclados del mercado. En esta comparación son notables tres características, humedad y variabilidad elementos nutritivos y nutrientes no equilibrados.

- **Humedad y variabilidad.** De las características anteriores la humedad puede variar si el estiércol esta fresco o un poco fermentado entre 50 y 80% según sus condiciones. (Buckman *et al*, 1997, citado por Parra, 2008).
- **Elementos nutritivos.** Debido a que se estima que en promedio el estiércol contiene 0.5% de nitrógeno, 0.25% de fósforo y 0.5% de potasio, una tonelada de este material proporcionaría solo 5, 2,5 y 5 kilogramos de nitrógeno total, fósforo y potasio respectivamente. Sin duda son porcentajes bajos si se les compara con fertilizantes comerciales comunes en el mercado. (Buckman *et al*, 1997, citado por Parra, 2008).
- **Nutrientes no equilibrados.** El fósforo de la mayor parte de los suelos minerales, es no solo pobre, también poco disponible. Además el fósforo añadido en fertilizantes se adsorbe fuertemente por el complejo de cambio del suelo y en parte resulta inactivo. Como consecuencia parece necesario para un fertilizante completo llevar tanto o incluso más fósforo que nitrógeno o potasio. El estiércol con una razón de aprovechamiento de 5-1-5, es evidentemente

demasiado pobre en fósforo (como ácido fosforico) para ser completamente efectivo y se le considera como desequilibrado por esta razón. Es a menudo aconsejable, sobre todo cuando el estiércol se usa para los cultivos de cereales, corregir esta condición con cantidades convenientes de superfosfato u otro fertilizante. Los efectos residuales, con el paso del tiempo, durante el cual pueden observarse los efectos de una aplicación de estiércol sobre el crecimiento de los siguientes cultivos, es sorprendente. (Buckman *et al*, 1997, citado por Parra, 2008).

3.4 ELABORACIÓN DE SUSTRATOS

La literatura menciona que a pesar de la adaptabilidad que presentan las diferentes especies de lombriz, las características del sustrato o material de crecimiento, afectan directamente el estado y multiplicación de este organismo (Bollo 1999, Ferruzi 1986, citados por Duran y Henríquez, 2009).

El sustrato es la primera capa que se coloca en la cama de producción y sobre la cual se incorporan las lombrices. El sustrato es el alimento (deshechos orgánicos previamente compostados o fermentados) que se debe prever para suministrar a las lombrices (Linares, 2007).

Es posible el empleo de diversos desechos orgánicos. La preparación del sustrato alimentario debe ser muy cuidadosa para no perder nutrientes. En el manejo del sustrato tenemos que tener en cuenta tres factores muy importantes:

3.4.1 Humedad. La humedad es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción. Debe estar entre el 70 y 80%. Una humedad superior al 85% hace que las lombrices entren en un período de latencia y se afecta la producción de vermicompost y la reproducción. Debajo de 70 % de humedad es una condición desfavorable. Niveles de humedad inferiores al 55 % son mortales para las lombrices (Geler, Abraham, s.f.).

La prueba para medir el porcentaje de humedad en el sustrato se conoce como prueba de puño, la cual consiste en agarrar una cantidad del sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplica fuerza normal, y si salen de 8 a 10 gotas es que la humedad está en un 80 % aproximadamente. En cualquier caso es mejor utilizar un medidor de humedad (Geler, Abraham, s.f.).

3.4.2 Temperatura. La temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, producción (vermicompost) y fecundidad de las cápsulas. Una temperatura entre 18 a 25 grados centígrados es considerada óptima, que conlleva el máximo rendimiento de las lombrices.

Cuando la temperatura desciende por debajo de 15° C las lombrices entran en un período de latencia, disminuyendo su actividad. Van dejando de reproducirse, crecer y producir vermicompost; los cocones (huevos) no eclosionan y pasan más tiempo encerrados los embriones, hasta que se presentan condiciones favorables (Geler, Abraham, s.f.).

3.4.3 pH. El pH mide lo alcalino o ácido del sustrato. La lombriz acepta sustratos con pH de 5 a 8.4, que podemos controlar mediante un pH-metro o un simple papel indicador. Fuera de esta escala, la lombriz entra en una etapa de latencia. La preparación del sustrato debe hacerse mediante fermentación aeróbica. Esta fermentación es el resultado de la actividad de una serie de microorganismos de diferentes grupos. El tiempo que dure la fermentación depende del pH, humedad, temperatura y tipo de sustrato.

El objetivo es que el alimento se estabilice en un pH de 7.5 a 8, humedad 80 % y temperatura 18 a 25 grados centígrados (Geler, Abraham, s.f.).

En el estiércol bovino el tiempo necesario para la estabilización es de 10 a 15 días aproximadamente, y es el sustrato que más rápido se estabiliza. El estiércol de conejo tarda de 20 a 25 días, y los residuos de cosechas de 15 a 25 días.

Las lombrices pueden también alimentarse de papel, no importando la tinta que éste contenga, se puede mezclar con el estiércol 10 días antes que Este esté estabilizado. Los metales, plásticos, gomas y vidrio son materiales que la lombriz no puede digerir.

Todos estos sustratos tienen una coloración café oscuro, no presentan mal olor y al tacto son semi pastosos; esto indica que el pH, humedad y temperatura son óptimos. Estos factores se pueden medir al ojo de la experiencia, si bien es mejor el uso de equipos adecuados (Geler, Abraham, s.f.).

3.5 RESIDUOS ORGÁNICOS SIN COMPOSTAR

Los residuos orgánicos sólidos cuando están frescos, tienen algunas restricciones para el uso directo en la agricultura, de ahí que se necesite realizar procesos de compostación o la transformación de los mismos a través de la lombricultura (Gomez, 2000).

Dentro de las limitantes tenemos:

- Presencia de fitotoxinas: se refiere a moléculas orgánicas como fenoles, ácidos grasos volátiles, óxido de etileno, que de diversa forma afectan negativamente el desarrollo vegetal (Moreno, 1998, citado por Gomez, 2000). No todos los residuos orgánicos dan lugar a la liberación de fitotoxinas, ni todos los cultivos son sensibles a las mismas, pero se parte del supuesto de que se pueden presentar.
- Calor latente: si el residuo no ha pasado por la etapa de descomposición inicial que consume las biomoléculas de energía rápida principalmente, no se ha liberado el calor correspondiente y este puede hacer daño directo a las raíces de las plantas, si se coloca cerca de ellas

- Elementos sanitarios; como patógenos de distinto orden que afectan al hombre, a los animales o a las plantas, pueden estar presentes en los residuos por lo que se convierten en una restricción sanitaria importante.
- Pobreza en nitrógeno: esta restricción se manifiesta en relaciones C/N muy altas, que traen como consecuencia una captura inoportuna del nitrógeno presente en la solución del suelo y el consecuente desabastecimiento de tal nutriente para las plantas.
- Tamaño: para el ataque microbial se requiere una alta superficie específica que no se logra si el residuo tiene tamaños inadecuados.
- Sales: algunos residuos, antes o después de la descomposición, liberan sales en cantidades lesivas a los cultivos, llevando a daño serio de la marcha metabólica de los cultivos.
- Elementos pesados: algunos residuos pueden tener concentraciones muy altas en metales pesados como Cd, Pb, Hg, Zn, lo que llevaría a la contaminación de los suelos y a su traslado en las cadenas tróficas, hasta llegar a los alimentos que consume el hombre.
- Semillas de malezas: algunas arvenses son muy agresivas, por lo que no convendría que llegasen con los residuos orgánicos a lotes de cultivo que no las tienen.
- Pobreza en nutrientes
- Olores desagradables: lo cual molesta a operarios que manipulan los residuos y a los demás, constituyéndose en contaminante de la atmósfera. Humedad: los materiales muy húmedos, son de difícil manejo y alto costo de transporte (Gómez, 2000).

3.6 PROCESO DEGRADATORIO DE LA MATERIA ORGÁNICA, DINÁMICA Y FACTORES INFLUYENTES

La degradación del tejido orgánico originario y formación del humus en el suelo es un proceso bioquímico muy complicado; pero en términos generales, sin profundizar en lo más particular, puede describirse con relativa simplicidad (Navarro, Simón; Navarro, Gines, 2003).

Si las condiciones son apropiadas, todos los tejidos orgánicos que llegan a un suelo en forma de restos de plantas y animales quedan sometidos inmediatamente a una transformación química y bioquímica. En estas transformaciones participan todos los organismos que viven en el suelo: microorganismos vegetales y animales, animales inferiores y superiores. Estos últimos cooperan activamente en los primeros momentos, mezclando aquellos materiales con las partículas inorgánicas del suelo, favoreciendo de esta forma su desintegración y transformación por los microorganismos que viven en el, especialmente bacterias y hongos (Navarro, Simón; Navarro, Gines, 2003).

Estos restos están constituidos por una amplia gama de sustancias: glúcidos, taninos, resinas, grasas, aceites, pigmentos, compuestos nitrogenados, etc. Cuando todos llegan al suelo, aun conservan su estructura anatómica original y un contenido bastante elevado de humedad. Esta última circunstancia ejerce una acción estimulante sobre la actividad microbiana del suelo (Navarro, Simón; Navarro, Gines, 2003).

Si se incorporan grandes cantidades de tejido orgánico fresco y descomponible se origina un cambio rápido. Los microorganismos desintegradores se multiplican rápidamente al encontrar, de forma fácil, una energía y nutrientes asimilables. La actividad microbiana pronto llega al máximo, lo cual se pone de manifiesto por la rápida liberación de energía y el gran desprendimiento de dióxido de carbono. Bajo estas condiciones, el nitrógeno desaparece rápidamente del suelo debido a la

insistente demanda de este elemento por los microorganismos para sintetizar sus tejidos. Y al cabo de un cierto tiempo esta en pequeñísimas cantidades, o no queda nada de él. Por tanto, cuando se produce la degradación, la relación C/N de los residuos decrece, ya que el carbono se pierde y el nitrógeno se conserva (Navarro, Simón; Navarro, Gines, 2003).

En esta fase, la materia orgánica del suelo esta formada por una gran variedad de compuestos, junto con los cuerpos de los microorganismos muertos o vivos. Los microorganismos muertos quedan también sujetos a su desintegración por los gérmenes vivientes (Navarro, Simón; Navarro, Gines, 2003).

Finalmente, cuando las reservas alimenticias y energía asimilable disminuyen, la actividad de los microorganismos degradadores va siendo gradualmente menor, debido a una falta de oxidación fácil de carbono. Es entonces cuando empiezan su actuación las bacterias nitrificantes, apareciendo nitratos de nuevo en cantidad. Las condiciones originales se establecen de nuevo, y al poco tiempo el suelo se enriquece en humus y en nitratos.

Evidentemente, el periodo de tiempo durante la descomposición del material originario en el que los nitratos disminuyen en el suelo (periodo de depresión de nitratos) puede ser mayor o menor, y dependerá de la cantidad del material aportado. Será, más amplio cuando se añadan cantidades grandes, y mas corto cuando sean cantidades pequeñas, ya que la degradación en este ultimo caso es mas rápida (Navarro, Simón; Navarro, Gines, 2003).

Lo descrito anteriormente es para tratar de explicar lo que sucede cuando se agrega al suelo, un material compostado “inmaduro” y de alguna manera, en vez de aportar, inicialmente, estaría afectando el desarrollo inicial de algunas plantas.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se realizo en su fase experimental en el área de lombricultura de Hacienda Las Flores, municipio de Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. Las condiciones ambientales imperantes son: precipitación promedio de 1350 mm. por año, temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa de 65 a 70%. Los análisis de laboratorio se realizaron en la empresa Agrilab, Bogota.

La medición de parámetros como temperatura, pH, y contenido de CO₂ se midieron durante unas 8 semanas, al cabo del cual se tomaron las respectivas muestras y se enviaron al laboratorio, donde se evaluó lo siguiente: humedad, cenizas, pH, retención de humedad, CIC, conductividad eléctrica, perdidas por volatilización, densidad, relación C/N, carbono orgánico y nitrógeno orgánico.

Como algunos sustratos alimenticios necesitaban un proceso de compostaje previo, la fecha de iniciación del experimento difiere a la fecha de montaje de todos los sustratos en las diferentes camas. En la tabla 1 se muestran los tratamientos diseñados.

Tabla 1. Tratamientos diseñados en el ensayo

TRATAMIENTO	SUSTRATO	CANTIDAD
1	Estiércol de bovino previamente compostado	100 Kg.
2	Estiércol + cachaza previamente compostados	50 Kg. estiércol + 50 Kg. de cachaza
3	Estiércol + cachaza sin compostar	50 Kg. estiércol + 50 Kg. de cachaza
4	Estiércol de bovino sin compostar	100 Kg.

4.2 SUSTRATOS UTILIZADOS

Los estiércoles son los residuos agrícolas más importantes. La palabra estiércol se emplea al respecto a los desechos de todos los animales de la finca, aunque como regla general, la mayor parte del estiércol que moderadamente se coloca en el suelo esta producido por el ganado vacuno. El estiércol consta de dos componentes originarios, el sólido y el líquido, en una relación aproximada de 3 a 1 (Parra, 2008).

Es muy difícil precisar cifras exactas para el estiércol mezclado que generalmente se aplica sobre el suelo, esto es a causa de un número variable de factores que entran y pueden cambiar radicalmente las cantidades y proporciones de nitrógeno, fósforo y potasio presentes. Los factores más importantes son clase de animal, edad, condición e individualidad de los animales, alimento consumido, cama usada, manejo y almacenamiento que el estiércol recibe antes de ser repartido sobre la tierra. Además del contenido de Nitrógeno, fósforo y potasio, el estiércol contiene también calcio, magnesio, azufre y probablemente todos los oligoelementos, estos últimos de gran importancia. En algunos casos para mantener el equilibrio de la condición de los nutrientes en los suelos tratados con estiércol. (Buckman *et al*, 1997, citado por Parra, 2008).

En el estudio realizado se utilizo como fuente de alimento principal, estiércol de bovino. Este estiércol fue recolectado en una finca que tiene una ganadería intensiva estabulada y que tiene como fuente de alimento, pasto y torta de palmiste.

La cachaza utilizada en el ensayo, procedió de la planta extractora presente en el área del estudio. La cachaza es un subproducto del proceso de extracción de aceite de palma. Es importante recordar, que la cachaza es el contenido sólido del decantador o tamiz vibratorio, que filtra el aceite crudo después de que este sale de la prensa. Es de color amarillo, su consistencia es fibrosa, su olor es dulzon y al

tacto es grasosa (Ocampo *et al* 1990).

Composición de la cachaza:

Materia seca, 95.3%

Proteína, 5.25%

Grasa cruda, 23.1%

Fibra cruda, 15.1%

Cenizas, 1.94%

La grasa existente en la cachaza tiene las mismas características que la grasa de la pulpa, cuya composición de ácidos grasos es: ácido mirístico 1.6%, palmítico 45.3%, esteárico 5.1%, oleico 38.7% y ácido linoléico 9.2%.

Es importante darle un posible uso a este insumo, ya que en una planta de beneficio de aceite de palma, un 0,003% se convierte en cachaza. Esto significa que una planta que procese 100.000 toneladas de fruta al año, estaría produciendo unas 300 toneladas de cachaza por año (comunicación personal, Ing. Jorge Reyes, 2010).

4.3 MONTAJE DEL EXPERIMENTO

Previa elaboración de la infraestructura física (camas en madera con piso de cemento) se procedió con la consecución y preparación de los diferentes sustratos.

En este trabajo de investigación se realizaron 12 camas a nivel de piso y separadas por madera, tablas de 30 cm. de alto, protegidas por un techo situado a 3,50 m. de altura. Cada cama tenía 1,20 m de largo x 0,8 m de ancho (lo que equivale mas o menos a 1,0 m. cuadrado y un volumen de 0,19 m³). En cada una de estas camas se colocaron 100 Kg. del sustrato o alimento a evaluar y que se describirán mas adelante (figura 1).



Figura 1. Lechos separados por tablas para ubicar los diferentes sustratos. Fuente autor

El volumen inicial de $0,19 \text{ m}^3$ de sustrato o alimento (100 Kg. aproximadamente) se determinó teniendo en cuenta el área de cada una de las camas y la altura inicial del sustrato, que debería haber en cada una de ellas.

Se seleccionó el estiércol y la cachaza como fuente de alimento de las lombrices, por que este material orgánico es abundante en la zona donde se realizó el ensayo. Por ejemplo, en la finca, donde se hizo el trabajo, existe un programa de ganadería intensiva (unos 2000 animales aproximadamente). La literatura reporta que un animal adulto más o menos defeca unos 40 Kg. por día. Como se puede ver, es un material orgánico altamente disponible y por lo tanto se lo incluyó en el programa de cría de lombrices y producción de lombricompuestos. De igual manera y como se mencionó anteriormente, en la empresa también existe una planta extractora de aceite de palma que produce una cantidad considerable de cachaza (300 toneladas al año, subproducto del proceso de extracción de aceite) y por lo tanto es bueno buscar algunas alternativas de uso.

Después de ubicar el alimento en cada una de las camas, se procedió a colocar en la parte superior del sustrato 1,0 kg. de lombrices previamente seleccionadas y que de acuerdo a la literatura se clasificaron como juveniles.

El tratamiento 1, estiércol de bovinos y el tratamiento 3, estiércol + cachaza, fueron compostados por 30 días a partir del 18 de septiembre del 2009. Cada dos días recibían una aireación manual (movimientos con pala) y a la vez se hacían aplicaciones de agua para hidratar las pilas (figura 2).



Figura 2. Montaje de pilas de sustratos en proceso de compostaje. Fuente autor.

El día 18 de octubre del 2010 se colocaron todos los sustratos en las diferentes camas. El diseño utilizado para este experimento es un DIA (Diseño Irrestringidamente al Azar) con 4 tratamientos por 3 replicaciones para un total de 12 unidades experimentales. La ubicación de las mismas se muestra en la figura 3.

Figura 3. Ubicación de los tratamientos en el sitio de estudio

T1	T2	T3	T4	T2	T1	T4	T3	T4	T1	T3	T2
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

En cada una de estas camas, se colocaron 100 Kg. de sustrato (alimento) y sobre la superficie de este alimento se colocó 1 Kg. de lombrices (estado juvenil). Esto nos da una densidad de 5 Kg. de lombrices por metro cúbico.

En este momento se hicieron algunas observaciones sobre el comportamiento inicial de las lombrices sobre el sustrato.

4.4 VALORACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

4.4.1 pH. Las mediciones de pH se hicieron cada 3 días, para lo cual se utilizó un equipo digital medidor de pH modelo 8414. Se tomaron 10g de cada una de las muestras del sustrato y se adicionaron 90 ml. de agua destilada, se dejó estabilizar por media hora la mezcla; se introduce el electrodo para hacer la lectura correspondiente. (Motta, 1990, citado por Parra, 2008).

4.4.2 Temperatura. Para realizar estas mediciones se utilizó un termómetro de punzón digital cuya escala de valores oscila entre 0 a 100 °C. La medición se realizó diariamente. Para esto se introducía la varilla del termómetro dentro de las camas con sustratos y lombrices hasta una profundidad de 15 cm. y luego se procedió a leer el valor en el tablero digital.

4.4.3 CO₂. Los niveles de CO₂ se midieron a diario después de 10 días de iniciado el ensayo, es decir, el ensayo empezó el 17 de octubre y las mediciones de CO₂ arrancaron el 27 de octubre. Se utilizó un equipo medidor de CO₂ con sonda de 90 cm., marca Bacharach, modelo Fyrite 10 – 5000, el cual mide el contenido de CO₂ que puede tener un determinado material. Según Hernandez, 2010, (comunicación personal), el aire puro tiene un 21% de O₂. La actividad microbiana aeróbica en las pilas consume ese oxígeno y genera CO₂. A medida que se va dando la respiración el O₂ disminuye y el CO₂ aumenta hasta que el O₂ se termina y es cuando decimos que el CO₂ ha llegado a su límite de 21% y el proceso se ha tornado completamente anaeróbico.

4.5 OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LAS LOMBRICES

Cuando se inició el experimento y se colocaron las lombrices, se estuvo

observando el comportamiento de estas ante la presencia del sustrato. Esto se hizo de manera visual y la idea era observar que pasaba con las lombrices cuando se encontraban con el nuevo alimento (sustrato).



Figura 4. Ubicación inicial de lombrices sobre los sustratos. Fuente autor

4.6 TOMA DE MUESTRAS PARA LABORATORIO

Antes de tomar las muestras, se tuvieron que recoger todas las lombrices existentes dentro del sustrato. Para realizar esta labor, se colocó sobre las camas que contenían las lombrices, pedazos pequeños de polisombra con estiércol fresco. Las lombrices que están dentro del sustrato apenas sienten comida fresca, empiezan a ascender hacia la polisombra. Este proceso duró aproximadamente 15 días. Las muestras para enviar al laboratorio se tomaron el día 15 de diciembre del 2009 (aproximadamente 60 días después de iniciado el ensayo). En todos los casos antes de proceder con la toma de las muestras, se procedió a medir por última vez, los parámetros pH, temperatura y contenido de CO₂. Las muestras que se tomaron fueron las siguientes:

Muestra 1: lombricompost de estiércol previamente compostado

Muestra 2: estiércol fresco sin ningún proceso

Muestra 3: lombricompost de estiércol sin compostar

Muestra 4: lombricompost de estiércol + cachaza previamente compostada

No se tomo muestra de Lombricompost de estiércol + cachaza sin compostar previamente por que en este caso las lombrices, prácticamente no realizaron ningún tipo de trabajo, no ingresaron al sustrato.

4.7 EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN DE LOMBRICES DESPUÉS DEL ENSAYO

En la última fase del ensayo se procedió a pesar la cantidad de lombrices que se encontraban dentro del sustrato y también la cantidad de huevos de las mismas, lo cual indicaría la calidad del sustrato. En condiciones adversas las lombrices no se aparean y por lo tanto los huevos producidos son mínimos.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 pH DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE

En la tabla 2, se muestran las mediciones obtenidas durante el periodo del ensayo.

Tabla 2. Valores de pH

Tratamiento	Unidades experimentales											
	Fecha	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2
17/10/2009	7,5	7,5	7,5	7,1	7,1	7,1	7,95	7,95	7,95	9,09	9,09	9,09
20/10/2009	7,75	8,2	7,99	7,3	6,9	7,1	8,05	8,3	7,89	9,1	8,6	9,05
23/10/2009	8,05	8,3	8,4	9,23	9,29	9,05	7,81	7,84	7,71	7,94	7,98	8,01
26/10/2009	8,8	8,3	8,9	7,95	7,49	7,91	8,3	6,76	6,79	7,4	7,66	7,59
30/10/2009	9,8	9,7	9,77	9,18	9,51	9,3	9,7	9,2	8,4	8,9	8,9	8,2
04/11/2009	9,36	9,68	9,75	9,23	9,44	9,39	8,94	9,81	8,98	9,02	9,43	8,32
07/11/2009	8,99	9,26	9,38	9,16	9,38	9,4	9,24	8,87	9,13	9,28	9,36	9,44
10/11/2009	8,57	9,32	9,16	9,14	9,3	9,21	8,86	9,03	8,71	9,72	9,61	9,77

En la figura 5 se puede observar mejor el comportamiento del pH durante el tiempo del ensayo (primeros 30 días).

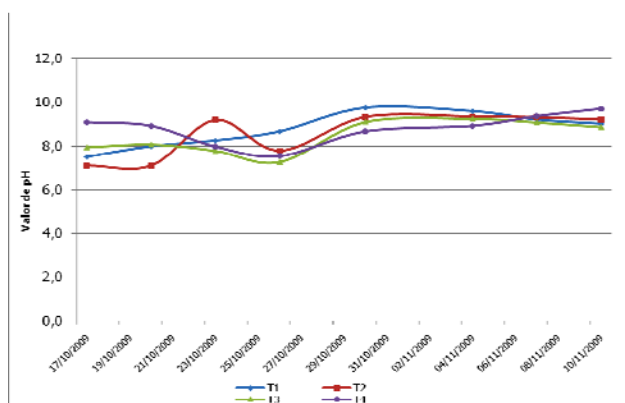


Figura 5. Valores promedio de pH en los sustratos utilizados

Como se puede observar, el pH de los sustratos utilizados es diferente en el comienzo del ensayo. Inicialmente (primera medición) el pH oscila entre 7,1 a 9,95. Es bien sabido que las lombrices funcionan mejor cuando el pH del sustrato está entre 6,5 a 7,5. A medida que el sustrato va pasando por el tracto digestivo de las lombrices, este pH empieza a cambiar ligeramente.

Probablemente el pH del sustrato no es un indicador importante de la madurez o estabilidad de un lombricompost (compost), pero si es determinante para el normal desarrollo de las lombrices dentro del sustrato. Según, Soto, (2003), las lombrices son capaces de digerir la mayoría de los desechos orgánicos y por la presencia de la glándulas de Morren, pueden regular un poco el pH del sustrato. Sin embargo algunos materiales como la pulpa de naranja o piña con pH inicial de 3 a 3.5 no permitirán el desarrollo de las lombrices hasta 2 a 3 semanas después, en que el pH sea naturalmente regulado. En ensayos realizados por Gutiérrez, et al (1999), citado por Soto, (2003), encontraron que después de dos semanas las lombrices fueron capaces de adaptarse y lograron una descomposición total de los materiales. Desde el punto de vista práctico, en este caso, será necesario crearles a las lombrices un espacio donde ellas puedan refugiarse hasta que el material esté completamente listo, o en su defecto, compostear el material en forma separada al principio, y solo agregar las lombrices cuando el material esté listo.

Normalmente en el proceso de compostaje se da una caída del pH en la fase inicial, debido a la liberación de ácidos orgánicos de la materia orgánica. Conforme el proceso de descomposición continua, estos ácidos orgánicos son descompuestos liberándose bases y altos contenidos de amoníaco que ayudan a elevar el pH. Blandon et al (1999), citado por Soto, (2003), en compostaje de

broza de café reportaron un incremento del pH desde 4.4 hasta 8.25 en el producto final. Estos incrementos pueden llegar a niveles como el reportado en compost de desechos de banano, donde encontraron pH finales hasta de 12.

En el presente experimento (figura 5), el pH en los tratamientos 2,3 y 4 (10 días después de iniciado el ensayo) tuvo un ligero descenso, tal como lo sugiere Soto, (2003). Posteriormente el pH empieza a subir. En el caso del tratamiento 1, el pH aparentemente es más estable, (7,5; 8; 8,3; 8,7) posiblemente por que proviene de un material previamente compostado y por lo tanto hay una baja liberación de amoníaco, de ahí que el pH de este tratamiento sea uno de los más bajos al final del proceso (8,3).

El pH del tratamiento 2, en los primeros 10 días es algo inestable (7,1; 7,1; 9,2; 7,8) pero de aquí en adelante tiende a estabilizarse en un valor promedio de 9,1. Probablemente se deba también a que la mezcla de sustratos utilizados (estiércol + cachaza) fue previamente compostado.

El tratamiento 3, inicia con niveles de pH más altos que los tratamientos 1 y 2 (8; 8,1) pero a los 10 días muestra un ligero descenso (7,8; 7,3). Sin embargo empieza a aumentar su pH a medida que avanza el tiempo (9,1; 9,2; 9,1; terminando en 9,2). La explicación a esta situación no es fácil encontrarla, pero se puede asumir como cambio en las condiciones químicas del sustrato a causa de de la actividad de las lombrices y de los microorganismos asociados a este.

En el tratamiento 4, donde el sustrato fue un estiércol sin compostar, fue donde mas variación se dio en este parámetro. Inicio con el pH más alto (9,1), a los 10 días bajo su valor al igual que los otros tratamientos, pero junto con el tratamiento 3, fue el que presento el valor más alto al final del ensayo (9,0). Probablemente se

debió a que era un material crudo y el proceso de descomposición y estabilización se fue dando en el desarrollo del experimento.

5.2 TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE

De igual manera que el pH, la temperatura del sustrato esta ligada al desarrollo normal de las lombrices, y por ende a la calidad del producto final obtenido. Al respecto no hay mucha claridad al utilizar este parámetro en la calidad final del producto. Una temperatura inadecuada del sustrato (también humedad, pH, etc.) afecta el desarrollo normal de las lombrices, el apareamiento y la producción de huevos o capsulas (futuras lombrices).

En la tabla 3, se pueden ver las temperaturas (°C) obtenidas durante el ensayo.

Tabla 3. Valores de Temperatura												
Fecha	Unidades experimentales											
	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3
17/10/2009	28	28,5	28,8	37,3	35,7	37,5	37,3	39,8	35,8	33,2	32	32,7
19/10/2009	29,1	29,5	31,1	44,5	42,9	43,9	44,4	43,8	40	35,9	35,1	35,8
20/10/2009	28,7	28,8	29,4	41	41	38	38,6	40,2	37,3	34,9	33,6	34
21/10/2009	28,8	29,1	29,9	36,4	38,4	39,2	40,8	38,8	36,4	33,2	34,3	34,8
22/10/2009	28,6	29	29,9	38,4	37,7	37,7	38,7	39,1	36,8	33,9	33,1	33,5
23/10/2009	29	29,5	29,8	36,3	37,9	37,8	38,6	38,3	36,5	34,2	33,6	32,7
24/10/2009	28,5	28,8	29,8	34,4	36,2	36,3	37,1	37,1	35,4	33,7	33,1	32,5
26/10/2009	29,2	29,5	30,7	35,8	36,4	35,9	38,3	37,2	35,1	33,6	33,5	33,8
27/10/2009	29,5	29,6	30,4	34,5	35,3	34,7	35,5	37,1	35,8	33,33	33,4	33,1
28/10/2009	29,5	29,4	30,1	34,9	35,5	35,9	36	36,7	38,9	35	32,9	33,4
29/10/2009	29,8	30,2	30,4	34,4	34,9	35,7	35,6	35,1	34,4	32,4	32	32,7
30/10/2009	29,6	30	30	34,5	35,2	35,1	35,2	35,7	35,9	32,2	31,8	31,4
31/10/2009	28,8	29,5	30,8	30,9	34,3	34,7	33,6	34	32,5	32,2	31,9	31,6
03/11/2009	29,2	29,3	30,1	32,7	33,8	33,3	32,3	33,4	32	30,8	31,3	31,6
04/11/2009	29	29,2	29,3	31,5	33,3	33	31,8	32	31,3	31,8	30,3	29,5
05/11/2009	28,7	28,9	29,2	31,8	32,8	32,7	31,3	32,5	31,5	30,6	30,9	30,6
06/11/2009	28,6	28,8	29,6	32,4	32,6	32	31,5	31,5	31,2	30,4	30,9	30,6
07/11/2009	28,2	28,8	29,8	32,6	32,7	31,2	31,1	31,6	31,1	30,1	30,5	30,6
09/11/2009	29,1	29,6	30,5	33,3	33,3	32,7	31,8	34,1	32	30,1	30,7	30,8
10/11/2009	29,3	29,4	30,2	33,2	33,1	32,5	31	32,1	31,2	30,7	30,8	30,5
11/11/2009	28,9	29,1	29,7	32,4	33,1	32,6	32,6	34,7	34,2	31,9	31,5	31,6
12/11/2009	29,1	29,3	29,9	33,2	33,8	33,4	32,9	34,8	35	32,1	31,3	31,6
13/11/2009	28,9	29,1	29,9	33,1	33,6	33,2	33	34,1	35,1	32,2	31,5	32,6

En la figura 6 se puede observar la evolución de la temperatura del sustrato durante el tiempo que duro el ensayo.

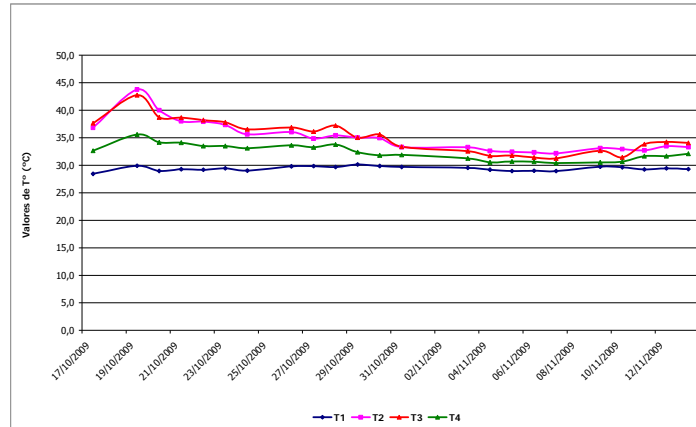


Figura 6. Valores promedio de temperatura en los sustratos utilizados

Se puede observar claramente que, desde el inicio del ensayo, las temperaturas de los sustratos son diferentes. Se determina que la temperatura mas baja del sustrato se presenta en el tratamiento 1, obviamente porque este sustrato fue previamente compostado durante 30 días, es decir sus picos de temperatura, ya pasaron en la fase previa de compostaje. A lo largo del ensayo, la temperatura del tratamiento 1 fue la más estable, manteniéndose alrededor de los 29 °C. Las temperaturas de los demás sustratos, siempre fueron superiores a los del tratamiento 1 que tuvo previa compostacion. Es explicable que los tratamientos 3 y 4 sean los de mayor temperatura por que los materiales que los conformaron, no fueron compostados y por lo tanto en la fase del ensayo (con lombrices incluidas), apenas se estaba dando el incremento de temperatura natural que corresponde a un proceso de compostaje. El tratamiento 2 (estiércol + cachaza previamente compostado) debería haber mostrado también baja temperatura, sin embargo esto no sucedió así; prácticamente fue la mas alta temperatura durante el ensayo. Esto, probablemente se debió a que la mezcla estiércol + cachaza, no se composto bien durante los 30 días que duro el proceso y por lo tanto en la fase del ensayo con lombrices incluidas, apenas estaba terminando de estabilizar la temperatura del material mezclado. Probablemente la cachaza por ser un material fibroso (relación C/N alta),

necesite de mayor tiempo para producir un producto compostado de mejor calidad.

En la literatura consultada, no fue posible encontrar un trabajo donde se relacione calidad de compost con la temperatura final del mismo. En el presente ensayo, después de 30 días de proceso, la temperatura del tratamiento 1 (28,9 °C), podría servir de guía teórica para determinar que el producto ya está más estable y es diferente a la temperatura de los demás sustratos incluidos en el ensayo.

Lo que sí se sabe es que temperaturas demasiado altas o bajas, afectan el desempeño de las lombrices dentro del sustrato. Según Schuldt, (2004), cuando la temperatura del sustrato es de 10 °C, las lombrices, siguen reproduciéndose, pero con moras significativas en la eclosión de cocones que liberarán lombrices recién al cabo de meses.

Por otra parte, cuando hay altas temperaturas (material nuevo), comienza un proceso de degradación, que se llama normalmente "composta". Entre otras cosas, este proceso genera calor, al punto de poder cocinar las lombrices. Aunque es exagerado llegar a este punto si es normal encontrar temperaturas por encima de 40 °C y en este caso las lombrices tienden a fugarse de la cama y prácticamente no comen, por lo tanto la producción de lombricompost disminuye ostensiblemente (Rodríguez, 2008).

5.3 CO₂ DURANTE EL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE

Quizás este es el parámetro que determina de manera más clara la calidad de un lombricompost.

En la naturaleza, inmediatamente después de la caída de los materiales al suelo y muchas veces antes, comienza un rápido proceso de transformación por parte de los macro y microorganismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. El proceso de descomposición está acompañado de la liberación de CO₂ y de los nutrientes contenidos en los residuos orgánicos (Soto, 2003).

En la tabla 4, se observan los valores obtenidos durante el ensayo.

Tabla 4. Valores de CO ₂												
Fecha	Unidades experimentales											
	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3
27/10/2009	2	1,5	4,1	5,6	5,5	3,5	9	9,5	10	6	7	6,5
28/10/2009	0,1	1,1	2	5	4	5,5	7,5	5	6	4	3,5	4
29/10/2009	0,1	1,1	1,1	4	4	3	3	2	2	3	2	2,4
30/10/2009	1,5	3	2	3,5	4	2,5	8	6	7,5	2	2	2,5
31/10/2009	1,2	2,5	2,5	3	4,9	3	2	2	2,1	3,5	4	4,5
03/11/2009	1,5	3	2,5	3	3,5	3	3,5	4	6,5	2,3	2,5	3,5
04/11/2009	1,5	1	2	3	2,5	3	2,5	4	5,1	2	2	3,5
05/11/2009	1	1	2	4	2,3	2,5	2,5	4	3,5	3	1	3,5
06/11/2009	1	1	2,3	3	2,5	3,5	6,5	6,5	9	2,5	2,5	2
07/11/2009	0,5	1	1	4	3	4	2,5	6	3	3	1	2
09/11/2009	1	1	1,2	3	1	1,4	1,5	2,5	2,5	2	1	2
10/11/2009	1,2	1	2	2,4	2,1	2,3	2	4	4,5	2,5	1	3,1
11/11/2009	1	1	1,1	3,1	3,2	3,1	1	1	2,5	1,5	1,1	2,1
12/11/2009	1	1	2	1,5	1,2	1,5	1	2,5	3,2	1	1	1,2
13/11/2009	1	1	1,5	2,5	2,6	1,2	1	1,4	3,1	1	1	1,2

La figura 7 muestra de manera grafica la evolución de los niveles promedios de CO₂ durante la época del ensayo.

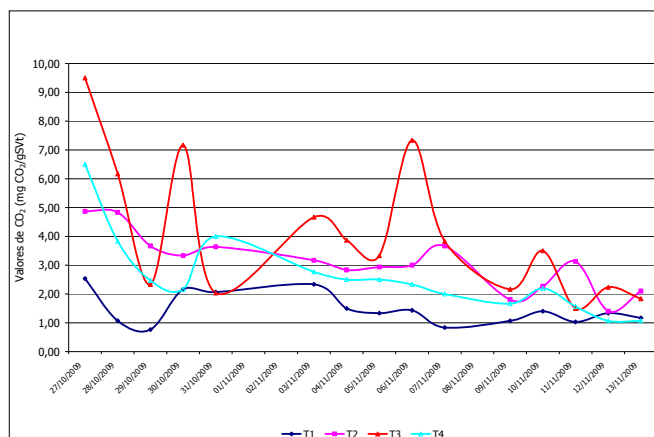


Figura 7. Valores promedio de CO₂ en los sustratos utilizados

En el caso del proceso de compostaje, para tener una buena oxigenación en un sustrato, se deben hacer volteos sucesivos. La frecuencia de volteo debe estar

determinada por la presencia de oxígeno. Para esto se han diseñado equipos que miden la presencia de oxígeno directamente al interior de la pila de compost, o en su defecto la presencia de CO₂. Se recomienda voltear cuando la concentración de CO₂ esté por encima del 8%. Sin embargo, los compost inmaduros también se caracterizan por volatización del nitrógeno (Hadas *et al.* 1983, citado por Soto, 2003) fitotoxicidad (Zucconi *et al.* 1981, citado por Soto, 2003) entre otros efectos negativos.

Como se puede ver en la figura 7, el único tratamiento que tuvo los niveles más bajos de CO₂ fue el 1 (estiércol previamente compostado) con valores que oscilan de 0,77 a 3,63. La explicación radica, en que el material fue previamente compostado y por lo tanto la liberación mayor de CO₂, sucedió en esta fase del ensayo. Posteriormente, las lombrices, encontraron en este sustrato su mejor fuente de alimento y por lo tanto el movimiento de este a través de su tracto digestivo, era una aireación natural del mismo.

El tratamiento 2 (estiércol + cachaza previamente compostado) nunca bajo a los niveles aceptables de emisión de CO₂, los valores de este material oscilaron entre 1,4 a 4,8, probablemente debido a que el periodo de compostaje no fue completo, quedo inconcluso, debido a la mezcla con la cachaza. Por lo tanto, este tipo de alimento no fue óptimo para las lombrices y estas no trabajaron al 100%, de ahí que no haya movimiento de las mismas, ni aireación natural.

El tratamiento 3 (estiércol + cachaza sin compostar) fue el mas inestable respecto a este parámetro, mostrando valores entre 1,83 a 9,5. Los niveles de CO₂ fueron los mas altos, obviamente por que no hubo compostaje previo. Este tipo de alimento nunca se debió usar como sustrato para lombrices. En la figura 7 se pueden apreciar unos descensos en los niveles de CO₂. Esto ocurrió 2 y 5 días después de iniciar las mediciones. Estos puntos muestran valores bajos de CO₂ y básicamente se debe a que fueron mediciones realizadas después de una aireación manual. Así mismo al final del ensayo, este valor de CO₂ también mostro un valor bajo (1,8) probablemente porque de una u otra manera el material se compostó ligeramente debido a los volteos manuales que se realizaron para mejorar las condiciones de vida de las lombrices (esto se hacia el mismo día para

todos los tratamientos). El producto final obtenido no presentaba cambios sustanciales respecto al material inicial.

El tratamiento 4 (estiércol sin compostar), posiblemente por no tener mezcla con otro material se comporto mejor que el tratamiento 3. Al final del ensayo los niveles de CO₂ eran relativamente bajos (1,3). Al igual que en el tratamiento 3, el volteo manual que se hacia periódicamente ayudo a que se diera un proceso de compostaje y de ahí que al final los valores de CO₂ fueron bajos.

Lo que sí es claro es que de acuerdo al comportamiento de los niveles de CO₂ de los tratamientos durante el desarrollo del ensayo, el mejor fue el 1, el cual presento unos niveles de CO₂ más bajos y más uniformes (el 72% de los valores estuvieron por debajo de 2) y por lo tanto las lombrices trabajaron mejor en este tipo de sustrato. Aparte de este nivel bajo de CO₂, la apariencia del material (mas granulado y suelto) indicarían un mejor material (lombricompuesto) final.

El lombricompost es un proceso muy parecido al compostaje, con la diferencia que en el primero hay intervención de lombrices. La madurez de un lombricompost o compost no esta claramente documentado. Al respecto, Soto y Meléndez, (2003), expresan que estos dos términos son comunes, sin embargo sus conceptos aún no están completamente claros y aún no existe un consenso sobre éstos. Wu *et al.*, 2000, citados por Soto (2003) define *estabilidad* como el grado de descomposición de la materia orgánica y *madurez* como el grado de descomposición de sustancias fitotóxicas producidas durante la fase activa. Ambos términos son importantes en compost porque involucran problemas como contaminación ó fitotoxicidad causada por una descomposición incompleta provocando inmovilización del N como consecuencia de las relaciones C/N amplias, daños a raíces por concentraciones de amonio inadecuada, al igual que por la producción de H₂S y NO₂ bajo condiciones anaeróbicas producto del consumo de oxígeno por la incompleta descomposición. La germinación de semillas también puede afectarse por compuestos fenólicos y ácidos alifáticos producidos durante el proceso de descomposición. Estos compuestos en condiciones de alta pluviosidad y en grandes cantidades pueden producir contaminación de las fuentes de agua.

Según, Uribe, (2003), la estabilidad del lombricompost y/o compost se refiere al grado al cual el sustrato ha sido descompuesto a materiales más estables. Este tipo de análisis se realiza determinando la cantidad de CO₂ producida durante una cantidad específica de tiempo. Un compost más estable tendrá tasas de respiración más bajas que uno inestable.

Tabla 5. Tabla de interpretación para la estabilidad del compost

TASA DE RESPIRACION (mg CO ₂ /g SV t)	ESTABILIDAD	CARACTERISTICAS
< 2	Muy estable	Compost bien terminado, no continua la descomposición, no hay producción de olor, no potencial para fitotoxicidad
2-8	Estable	Compost terminado, producción de olor poco probable, limitado potencial para fitotoxicidad, impacto negativo mínimo sobre la dinámica del C y N del suelo
8-15	Moderadamente inestable	Compost sin terminar, producción de olor mínimo, potencial para fitotoxicidad, impacto negativo moderado sobre la dinámica del C y N del suelo. No recomendado para semilleros
5-40	Inestable	Compost sin terminar, producción de olor, alto potencial para fitotoxicidad, alto potencial para impacto negativo sobre la dinámica del C y N del suelo. No recomendado para semilleros, uso posible como cover mulch
> 40	Material sin estabilizar	Material extremadamente inestable, producción de olor esperada, alto potencial para fitotoxicidad, impacto negativo esperado para la dinámica del C y N del suelo. No recomendado para usar como compost

(Fuente: The U.S Composting Council.)

5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS LOMBRICES DURANTE EL ENSAYO

Uno de los factores que determinan si un sustrato esta en buenas condiciones para albergar a las lombrices es el comportamiento de las mismas ante este alimento.

Para determinar el comportamiento de las lombrices frente al sustrato, únicamente se tuvo en cuenta las observaciones de tipo visual, es decir una apreciación subjetiva y no cuantitativa.

En la tabla 6 se puede ver los resultados:

Tabla 6. Comportamiento de lombrices frente al sustrato suministrado

DIA	TRATAMIENTO	OBSERVACION
1 (19 octubre 2009)	1	Lombrices integradas en forma normal en el sustrato
	2	Lombrices permanecen en el sustrato "base" sin incorporarse al nuevo sustrato
	3	Lombrices desplazándose por la superficie del sustrato, posteriormente se juntan entre ellas formando "pelotas"
	4	Lombrices sin integrarse al sustrato. Aparentan querer escapar del alimento
2 (20 de octubre 2009)	1	Lombrices actuando con normalidad.
	2	Integradas totalmente al sustrato
	3	Lombrices empiezan a integrarse al sustrato lentamente
	4	Lombrices permanecen en el sustrato base. Se están integrando lentamente al sustrato
3 (21 de octubre 2009)	1	Normalidad en las lombrices
	2	Gran parte de las lombrices se han integrado al sustrato. Algunas permanecen en el sustrato "base"
	3 y 4	Las lombrices aun siguen sin integrarse totalmente al sustrato
4 (22 de octubre 2009)	1	Lombrices en completa normalidad
	2,3 y 4	Aun que la mayoría de lombrices se han integrado, algunas aun permanecen en los sustratos base.
5 (23 de octubre 2009)	1	Normalidad
	2	Algunas lombrices permanecen sin ingresar al sustrato. Se ha presentado hongo sobre el sustrato
	3 y 4	Lombrices permanecen en el sustrato base, otras han ingresado lentamente

Este comportamiento anterior, prácticamente continuo así hasta el día 20 (5 de noviembre del 2009).

En el tratamiento 1 (estiércol previamente compostado) se vio un consumo del sustrato importante así como una buena integración de las mismas en el alimento suministrado. Probablemente se deba a que en este sustrato, las temperaturas del mismo fueron relativamente bajas (no superiores a los 30 °C). Así mismo, los niveles de CO₂ fueron bajos, es decir el sustrato estaba en condiciones aeróbicas. Esto se ve favorecido por la misma acción de las lombrices cuando se desplazan a través del mismo. Las buenas características de este sustrato se debieron al compostaje previo durante un mes aproximadamente.

El tratamiento 2 (estiércol + cachaza previamente compostados) presento en el lecho, unos niveles de temperatura más elevados, desde el inicio de la prueba; esto tal vez nos indica que esta mezcla requiere mayor periodo de compostaje antes de incluir el sustrato en la cama; los niveles de CO₂ mas altos (4,87), indican que el nivel de oxigenación del mismo es menor que en el tratamiento 1, sin embargo luego de la aireación mecánica se observaba un aumento en la oxigenación de el mismo.

En el tratamiento 3 (estiércol + cachaza sin compostar), la temperatura permaneció más alta (promedio de 35,2 °C) , indicando procesos fermentativos en la descomposición de la mezcla estiércol – cachaza, los cuales están ocurriendo dentro del lecho; tal vez, esta es alguna de las razones por lo que las lombrices están siempre tratando de escapar del sustrato, los niveles de CO₂ han sido siempre más altos que el tratamiento 1; en general la apariencia del sustrato no cambio mucho, lo cual indica que las lombrices no están consumiendo este alimento.

En el tratamiento 4 (estiércol sin compostar), la temperatura fue siempre inferior al tratamiento 2 y 3 pero superior al tratamiento 1 (promedio de 32,1 °C), mostrando con esto, que el estiércol solo, en casos de emergencia, se podría utilizar como alimento. La oxigenación del lecho también ha sido relativamente estable y las lombrices tuvieron un consumo aceptable de este sustrato. La apariencia del mismo, es muy parecida a la del tratamiento 1.

En este mismo sentido, también se evaluaron la ovoposición de las lombrices dentro de cada lecho. La literatura menciona que cuando las lombrices no se encuentran en una situación favorable, lo primero que dejan de hacer es el acoplamiento y por lo tanto no habrá postura de cocones. Esta evaluación se realizó al final del ensayo, es decir aproximadamente 30 días después de iniciado el mismo. En el presente estudio, esto fue lo que se encontró, tabla 6.

Tabla 7. Peso (gm) de las lombrices y número de cocones después de un mes de permanecer en el lecho

Tratamiento	Peso promedio de lombrices (gm)	Número promedio de huevos (cocones)
1	867	441
2	833	40
3	567	43
4	950	141

Lo anterior corrobora lo analizado durante todo el ensayo. El peso promedio de lombrices (gm) hace referencia a la cantidad de lombrices (no en número si no en peso) presentes en cada lecho después de realizado el ensayo. Se supone que entre mas alto sea este peso, habrá más lombrices presentes en el mismo.

En el tratamiento 1 se encontró una peso mayor (867 gm) que en el tratamiento 2 y 3. Significa que en este lecho, tratamiento 1, las lombrices se sintieron en mejor condición y esto se debe al alimento presente en el lecho y en el cual la temperatura fue mas baja y uniforme que en los otros tratamientos, así mismo en este tratamiento hubo una mayor oxigenación, es decir menos contenido de CO₂. En el tratamiento 2, de igual manera, se presentó un buen nivel de lombrices (833 gm). Este tratamiento tuvo una mezcla de estiércol + cachaza y por lo tanto, de alguna manera este material tenía un cierto grado de compostamiento.

El tratamiento 3 fue el más pobre en este parámetro (567 gm). Probablemente se

debió a que las lombrices se escaparon o que disminuyó su población al no encontrar un medio propicio en este tipo de sustrato. En este tratamiento fue donde se encontraron las condiciones más adversas para las lombrices: altas temperaturas, altos niveles de CO₂, es decir condiciones anaeróbicas que no favorecieron la adaptación de las lombrices.

En el tratamiento 4 se presentó el peso más alto de lombrices (950 gm). Aun que las condiciones para las lombrices no fueron las mejores, este resultado probablemente se debió a que las lombrices que se fugaron de los lechos contiguos (tratamiento 3) se pasaron a este lecho. De todas maneras las condiciones de este lecho no fueron tan desfavorables para las lombrices.

Pero es más contundente el resultado que se obtuvo en el número de cocones encontrados en cada tratamiento.

En el tratamiento 1 fue donde se encontraron un mayor número de cocones (441), lo que indica que las lombrices se acoplaron con mayor frecuencia. Esto corrobora que las buenas condiciones del sustrato permite un mejor desarrollo de las lombrices. El tratamiento 4 con 141 cocones fue el que le siguió al tratamiento 1. Los tratamientos 2 y 3 presentaron un bajo nivel de cocones (40 y 43 respectivamente), lo que significa que definitivamente estos dos sustratos no fueron los más recomendables para las lombrices.

5.5 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para poder comparar los resultados de las muestras enviadas al laboratorio, estos fueron obtenidos en base seca. Las muestras que se tomaron al final del ensayo, después de haber evacuado la totalidad de las lombrices, fueron:

- Muestra 1: Lombricompuesto a partir de estiércol compostado, código de laboratorio MO 9910 (corresponde al tratamiento 1)

- Muestra 2: Estiércol fresco sin compostar (no paso por el proceso de lombricompostaje), código de laboratorio MO 9911
- Muestra 3: Lombricompostado a partir de estiércol sin compostar, código de laboratorio MO 9912 (corresponde al tratamiento 4)
- Muestra 4: Lombricompostado a partir de la mezcla de estiércol + cachaza, previamente compostada, código de laboratorio MO 9913 (corresponde al tratamiento 2)

Del tratamiento 3 (estiércol + cachaza sin compostar) no se tomo muestra debido a que prácticamente no hubo actividad de las lombrices sobre este sustrato.

Los resultados completos de laboratorio, se muestran en el anexo 1.

5.5.1 Análisis de los resultados obtenidos. En la tabla 8 se muestran el resumen de los resultados de cada una de las muestras enviadas al laboratorio.

Tabla 8. Resultados de las muestras enviadas al laboratorio

PARAMETRO	UNIDAD	M1 MO9910	M2 MO9911	M3 MO9912	M4 MO9913
Humedad	%	45,5	18,3	51,7	42,1
Cenizas	%	58,6	52,4	44,5	56,6
Perdidas por volatilización	%	41,4	47,6	55,5	43,4
Carbono orgánico oxidable	%	16,4	17,4	22,5	20,4
pH		7,07	6,73	6,92	6,57
Densidad	gm/cc	0,86	0,79	0,79	0,83
Conductividad eléctrica	dS/m	12,3	19,5	12,8	12,3
Retención de humedad	%	93,9	110	121	102
C.I.C	Meq/100 gm	47,9	48,1	52,3	48,5
C/N		10	10	11	10
N. orgánico	%	1,72	1,81	2,11	2,05
Fosforo (P ₂ O ₅) total	%	1,56	1,9	1,81	1,52

Potasio (K₂O) total	%	4,63	2,27	1,78	1,72
Calcio (CaO) total	%	1,96	2,55	2,09	2,32
Magnesio (MgO) total	%	1,53	1,3	1,54	1,37
Azufre total	%	0,35	0,37	0,47	0,48
Hierro total	%	1,33	1,05	1	1,09
Manganeso total	ppm	455	482	428	401
Cobre total	ppm	40	53	43	44
Zinc total	ppm	26	47	31	27
Boro total	ppm	40	37	37	45
Sodio total	%	0,15	0,23	0,16	0,14

El análisis se realizó sobre los parámetros más importantes:

- **Humedad:** este parámetro indica el contenido de humedad que tenía cada una de las muestras al momento de su recolección. Lo relevante es la humedad más baja del estiércol antes de ser procesado (18,3%) versus las humedades más altas de las otras muestras (45,5%; 51,7%; 42,1%) respectivamente. Esto se debe a que en estas últimas hubo necesidad de aplicar agua para que el sustrato tenga al menos una humedad del 80%, humedad recomendada para un mejor desempeño de las lombrices.
- **Carbono orgánico oxidable:** las muestras MO 9910, MO 9911, MO 9913, muestran mayor grado de mineralización que la muestra MO 9912. La mayor mineralización la tiene la muestra MO 9910 lo cual se sabe por tener menos contenido de COO (Carbono orgánico oxidable), mayor densidad y por lo tanto menos CRA (Capacidad de retención de agua).
- **Nitrógeno:** la muestra MO 9912 (T4, lombricompuesto a partir de estiércol sin compostar) tiene el mayor contenido de nitrógeno (2,11%) debido a que este no fue gastado en conversión de tejido celular ni alimento de poblaciones microbiológicas que se da en un proceso de compostaje.

De igual manera el que tiene el menor contenido de nitrógeno orgánico (1,72%) es la muestra MO 9910 (T1, lombricompuesto a partir de estiércol

compostado). En este caso el nitrógeno existente en el material original, fue consumido por los microorganismos cuando se dio el proceso de compostaje. Según Bukcman, et al, 1977, citado por Parra, (2008), en los estados iniciales del compostaje se presenta una fermentación aerobia. Estas transformaciones son casi siempre rápidas y van acompañadas de bastante calor. Los compuestos nitrogenados sencillos son los primeros en quedar influenciados, mientras que los constituyentes mas complicados son poco afectados. El anhídrido carbónico se desprende en grandes cantidades. La urea de la orina queda influida por actividades aerobias y rápidamente se hidroliza. El carbonato amoniaco que resulta es inestable y pronto produce amoniaco. Si las condiciones son favorables para la nitrificación y este es el caso, pueden aparecer los nitratos en abundancia. Debido a que tales compuestos nitrogenados son muy solubles y sujetos de adsorción aunque pequeña, pueden ocurrir serias pérdidas por lavado. En consecuencia, en los estados iniciales y mejor aireados de descomposición el estiércol puede ser agotado en su nitrógeno en dos formas, amoniacal y nitrato (Buckman *et al*, 1997, citado por Parra, 2008).

La muestra 4, MO 9913 (T4, lombricompostado a partir de estiércol + cachaza previamente compostada) presento un valor de nitrógeno orgánico de 2,05%; este valor relativamente alto, se debe también a que el proceso de compostaje no fue completo y por lo tanto los microorganismos no alcanzaron a consumir el nitrógeno existente.

El grado de maduración de las cuatro muestras es muy similar, es decir se podrían considerar aptas para utilizarse, esto basándose en la relación C/N. Sin embargo, los mayores contenidos de materia orgánica, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio cationico, carbono orgánico oxidable, y niveles de nitrógeno le dan mayor valor agronómico a la muestra MO 9912 (Lombricompostado a partir de estiércol sin compostar).

Los resultados anteriores podrían llevar a la pregunta de por que se debe hacer lombricultura, si hay sustratos que sin pasar por el tracto de las lombrices, aparentemente son de mejor calidad (análisis físico químico). La respuesta puede estar en el mayor contenido de microorganismos benéficos presentes en el lombricompost, a diferencia de menores contenidos en estiércol “puro” o compostajes.

Según Soto, (2003), en estudios realizados en Costa Rica con broza de café y pulpa de banano se ve el efecto de uso de lombrices sobre el producto final. En ambos casos es posible observar que el lombricompost aumenta los contenidos de calcio de los materiales y regula el pH del producto final. También se han reportado incrementos en la población de microorganismos, hasta alcanzar poblaciones de 10¹² UFC, en comparación con poblaciones de 10⁹ UFC en compost. Esto se debe a que las temperaturas favorecen un desarrollo de la población microbiana, y el efecto rápido sobre el tamaño de partículas y el contenido de azúcares que tiene la lombriz.

En otro estudio realizado en Costa Rica, se observaron poblaciones de microorganismos en diferentes abonos orgánicos en el orden de 10⁸ bacterias por gramo de abono, dichas poblaciones adaptadas al sustrato hacen difícil el establecimiento o sobre vivencia de patógenos al verse expuestos a competencia, inhibición, antagonismo, depredación y antibiosis, tabla 9 (Uribe, 2003).

Tabla 9. Valores típicos de abonos orgánicos, Costa Rica

Tipo de abono	Bacterias UFC/gm	Actinomicetes UFC/gm	Hongos UFC/gm
Compost	23.000.000	990.000	14.000
Bokashi	26.786.000	2.679.000	< 1000
Lombricompost	103.879.000	10.519.000	151.000

Lo anterior ayudaría a explicar el por que debe hacerse lombricultura, y no simplemente compostaje o aplicaciones de estiércoles frescos “puros”. En un acápite anterior se explico claramente por que no se debe aplicar estiércoles directamente en el campo.

6. CONCLUSIONES

Las diferentes actividades que se realizaron en el transcurso del ensayo, permiten concluir que en el proceso de lombricultura, son más importantes las características del sustrato empleado como alimento para su supervivencia que las características que se logren del producto final. Esto se hace evidente al analizar la composición físico química de los lombricompuestos al final del trabajo.

El manejo previo con compostaje de los sustratos permite un mejor desempeño de las lombrices ya que la temperatura, pH y contenido de CO₂ son mas uniformes. En este caso el tratamiento 1, presento los valores mas bajos de temperatura y los niveles de CO₂ estuvieron durante la mayor parte del ensayo en niveles bajos, lo que indicaba que el contenido de oxígeno era el adecuado para la supervivencia de las lombrices. Esto se comprueba al final, cuando se observa el mayor número de cocones en este tipo de sustrato.

La apariencia física de los sustratos utilizados es otra de las razones del por que se debe hacer lombricompuestos. El tratamiento 1 y el tratamiento 3, fueron los que presentaron un tipo de granulometría aceptable debido a que las lombrices lograron pasar a través de su tracto digestivo el alimento suministrado. Los otros tratamientos (2 y 4) prácticamente no cambiaron la apariencia inicial por que fueron consumidos en menor proporción por las lombrices.

7. RECOMENDACIONES

Independientemente de los resultados obtenidos en un laboratorio, es importante que se evalúen los lombricompuestos obtenidos a nivel de campo. Se sugieren evaluar dosis del producto a utilizar.

En un futuro ensayo se podría evaluar las poblaciones microbiales de los lombricompuestos para ver si existen diferencia ente los mismos y ojala compararlo con poblaciones de microorganismos presentes en compostajes.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, L, Brand, H. 1992, Materias primas. *Lombricultura, la alternativa ecológica para el futuro*. p. 19-39.

Duran, L., Henríquez, C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja *Eisenia foetida* en cinco sustratos orgánicos. En: *Agronomía costarricense*, Julio. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n02_275.pdf p. 276. Consulta: febrero de 2010

Fernández, V, Hernández, X. 2006. Producción de abono orgánico a partir de heces ovinas en Palma Gorda, Hidalgo. *Cultivo de lombriz roja para producción de abono orgánico*.
http://ammveb.net/XXX%20CNB/memorias%202006/pequenos_rumiantes/conferencias/fpeq03.doc p 1-2 Consulta: febrero de 2010

Geler, A. Lombrices. S.f. Compostadores. www.compostadores.com. p.1-2. Consulta: febrero de 2010.

Gómez, J. 2000. Los residuos orgánicos. *Abonos orgánicos*. p. 19.

Linares, Jesús. 2007. Sustrato o alimento. Instructivo técnico de la lombricultura. www.acuaristasdevenezuela.com.ve/.../viewtopic.php? s.p. Consulta: febrero de 2010

Navarro, S., Navarro, G. 2003. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. *Química Agrícola*. p. 54-57.

Ocampo, A., Castro, C., Alfonso, L. 1990. Determinación del nivel optimo de proteína al utilizar cachaza de palma africana como fuente de energía en raciones para cerdos de engorde. En: *Livestock research for rural development*. Julio. vol. 2, num. 2. www.lrrd.org/lrrd2/2/ocampo.htm s.p. Consulta: febrero de 2010

Parra, Carolina. 2008. *Caracterización de poblaciones microbianas en dos tipos de estiércol, durante el proceso de compostaje*. Tesis Microbiología Agrícola y Veterinaria. Pontificia Universidad Javeriana. Sede Bogotá.

Rodríguez, R. 2008. 14 causas de pérdidas de lombrices. *Lombricultura casera*. Septiembre. www://lombriculturacasera.blogspot.com/2008_09_01_archive.html s.p. Consulta: marzo de 2010

Sanchez, R. 2008. Agricultura orgánica. *Agricultura orgánica Ramiro Sanchez*. enero.<http: /
[/www.agriculturaorganicaramirosanchez.blogspot.com/2008_01_01_archive.html](http://www.agriculturaorganicaramirosanchez.blogspot.com/2008_01_01_archive.html) s.p. Consulta: febrero de 2010

Schuldt, M. 2004. El alimento de las lombrices. *Lombricultura fácil*. p. 35-48

SEGADE. 2006. La lombricultura. *Manual de lombricultura practica*. Noviembre. www.manualdelombricultura.com/foro/dat.pl?cl=c&n s.p. Consulta: febrero de 2010

Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. *Taller de abonos orgánicos*. Marzo. <<http://www.catie.ac.cr//version%20electronica%20memoria.pdf> p. 21-22. Consulta: marzo de 2010

Uribe, L. 2003. Inocuidad de abonos orgánicos. *Taller de abonos orgánicos*. Marzo. <<http://www.catie.ac.cr//version%20electronica%20memoria.pdf>. p 11. Consulta: marzo de 2010

ANEXO 1. RESULTADOS DE LABORATORIO

Código: M.O

LOMBRICOMPUESTO A PARTIR DE ESTIERCOL

9910

COMPOSTADO

PARAMETRO	RESULTADOS	UNIDADES	METODO ANALITICO
Humedad	45,5	%	Gravimétrico
Cenizas	58,6	%	Gravimétrico
Perdida por volatización	41,4	%	Gravimétrico
C.O oxidable	16,4	%	Walkley Black
pH (pasta de saturación)	7,07		Potenciómetro
Densidad (base seca -20°C)	0,86	g/cc	Gravimétrico
C.E	12,3	ds/m	Conductímetro
Retención de humedad	93,9	%	Gravimétrico
CIC	47,9	meq/100 g	Volumétrico
C/N	10		
Nitrógeno orgánico	1,72	%	Micro Kjeldhal
Fósforo total (P ₂ O ₅)	1,56	%	Colorimétrico
Potasio total (K ₂ O)	4,63	%	Absorción atómica
Calcio total (CaO)	1,96	%	Absorción atómica
Magnesio total (MgO)	1,53	%	Absorción atómica
Azufre total	0,35	%	Turbidimétrico
Hierro total	1,33	%	Absorción atómica
Manganeso total	455	Ppm	Absorción atómica
Cobre total	40	Ppm	Absorción atómica
Zinc total	26	Ppm	Absorción atómica
Boro total	40	Ppm	Colorimétrico
Sodio total	0,15	%	Emisión de llama
Residuo insoluble en ácido	44,2	%	Gravimétrico

Resultados en base seca

Código: M.O

9911

ESTIERCOL FRESCO SIN COMPOSTAR

PARAMETRO	RESULTADOS	UNIDADES	METODO ANALITICO
Humedad	18,3	%	Gravimetrico
Cenizas	52,4	%	Gravimetrico
Perdida por volatizacion	47,6	%	Gravimetrico
C.O oxidable	17,4	%	Walkley Black
pH (pasta de saturación)	6,73		Potenciómetro
Densidad (base seca -20°C)	0,79	g/cc	Gravimétrico
C.E	19,5	ds/m	Conductimetro
Retención de humedad	110	%	Gravimetrico
CIC	48,1	meq/100 g	Volumétrico
C/N	10		
Nitrógeno orgánico	1,81	%	Micro Kjeldhal
Fósforo total (P ₂ O ₅)	1,9	%	Colorimétrico
Potasio total (K ₂ O)	2,27	%	Absorción atómica
Calcio total (CaO)	2,55	%	Absorción atómica
Magnesio total (MgO)	1,3	%	Absorción atómica
Azufre total	0,37	%	Turbidimetrico
Hierro total	1,05	%	Absorción atómica
Manganeso total	482	Ppm	Absorción atómica
Cobre total	53	Ppm	Absorción atómica
Zinc total	47	Ppm	Absorción atómica
Boro total	37	Ppm	Colorimétrico
Sodio total	0,23	%	Emisión de llama
Residuo insoluble en acido	35,4	%	Gravimétrico

Resultados en base seca

LOMBRICOMPUESTO DE ESTIERCOL SIN COMPOSTAR

Código: M.O 9912

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDADE	METODO ANALITICO
Humedad	51,7	%	Gravimetrico
Cenizas	44,5	%	Gravimetrico
Perdida por volatilización	55,5	%	Gravimétrico
C.O oxidable	22,5	%	Walkley Black
pH (pasta de saturación)	6,92		Potenciómetro
Densidad (base seca -20°C)	0,79	g/cc	Gravimetrico
C.E	12,8	ds/m	Conductimetro
Retención de humedad	121	%	Gravimetrico
CIC	52,3	meq/100 g	Volumétrico
C/N	11		
Nitrógeno orgánico	2,11	%	Micro Kjeldhal
Fósforo total (P ₂ O ₅)	1,81	%	Colorimétrico
Potasio total (K ₂ O)	1,78	%	Absorción atómica
Calcio total (CaO)	2,09	%	Absorción atómica
Magnesio total (MgO)	1,54	%	Absorción atómica
Azufre total	0,47	%	Turbidimetrico
Hierro total	1	%	Absorción atómica
Manganeso total	428	ppm	Absorción atómica
Cobre total	43	ppm	Absorción atómica
Zinc total	31	ppm	Absorción atómica
Boro total	37	ppm	Colorimétrico
Sodio total	0,16	%	Emisión de llama
Residuo insoluble en acido	30,5	%	Gravimetrico

Resultados en base seca

Código: M.O 9913

**LOMBRICOMPUESTO A PARTIR DE ESTIERCOL +
CACHAZA PREVIAMENTE COMPOSTADA**

PARAMETRO	RESULTADOS	UNIDADES	METODO ANALITICO
Humedad	42,1	%	Gravimetrico
Cenizas	56,6	%	Gravimetrico
Perdida por volatizacion	43,4	%	Gravimetrico
C.O oxidable	20,4	%	Walkley Black
pH (pasta de saturación)	6,57		Potenciómetro
Densidad (base seca - 20°C)	0,83	g/cc	Gravimetrico
C.E	12,3	ds/m	Conductimetro
Retención de humedad	102	%	Gravimetrico
CIC	48,5	meq/100 g	Volumétrico
C/N	10		
Nitrógeno orgánico	2,05	%	Micro Kjeldhal
Fósforo total (P ₂ O ₅)	1,52	%	Colorimétrico
Potasio total (K ₂ O)	1,72	%	Absorción atómica
Calcio total (CaO)	2,32	%	Absorción atómica
Magnesio total (MgO)	1,37	%	Absorción atómica
Azufre total	0,48	%	Turbidimetrico
Hierro total	1,09	%	Absorción atómica
Manganeso total	401	ppm	Absorción atómica
Cobre total	44	ppm	Absorción atómica
Zinc total	27	ppm	Absorción atómica
Boro total	45	ppm	Colorimétrico
Sodio total	0,14	%	Emisión de llama
Residuo insoluble en acido	39,7	%	Gravimetrico

Resultados en base seca

