

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION

ESCUELA DE POSTGRADO

**“PRODUCCIÓN DE ABONO ORGANICO CON PULPA DE
CAFE MEDIANTE EL LOMBRICOMPOSTAJE”**

POR

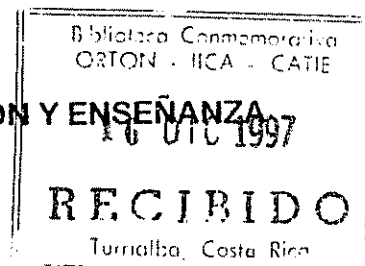
JACKELINE SILES CALVO



Turrialba, Costa Rica

1997

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE



PROGRAMA DE EDUCACION
ESCUELA DE POSTGRADO

**“PRODUCCION DE ABONO ORGANICO CON PULPA DE
CAFE MEDIANTE EL LOMBRICOMPOSTAJE”**

Tesis sometida a consideración de la escuela de postgrado, programa de educación en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar por el grado de

Magister Scientiae

por

Jackeline Siles Calvo

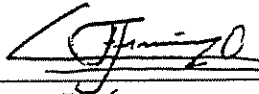
Turrialba, Costa Rica

1997

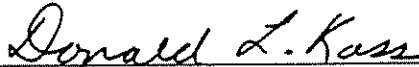
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

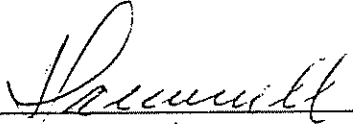
FIRMANTES:



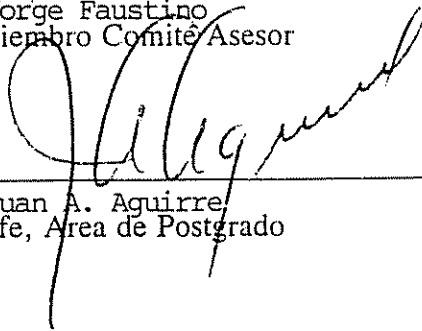
Francisco Jiménez
Profesor Consejero



Donald Kass
Miembro Comité Asesor



Jorge Faustino
Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre
Jefe, Area de Postgrado

Markku Kanninen
Director, Programa de Enseñanza



Jackeline Siles Calvo
Candidato

DEDICATORIA

A mi madre, Jeanneth Calvo, por enseñarme a ser auténtica y darme a conocer las cosas importantes en la vida, el amor al creador y a todo lo que me rodea. A mi padre, Rodrigo Siles, por enseñarme que trabajar todos los días para lograr mis sueños, es la mejor forma de vivir. A ustedes todo mi agradecimiento y amor.

A Chris por ser como eres y mostrarme lo que significa tener una amiga en la vida.

A la madre naturaleza por su hermosa creación y por incluir en ella a las lombrices.....

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a Francisco Jiménez por su paciencia de enseñarme como hacer bien las cosas, por su ayuda durante la realización de mi trabajo y sus comentarios tan acertados.

A los miembros de mi comité, Don Jorge Faustino por sus enseñanzas y consejos, y a Donald Kass por su interés y comentarios.

A Johnny Pérez, por su ayuda en los momentos oscuros con el SAS y por su humor que hizo la diferencia.

A la embajada de Holanda por financiar mis estudios y a los personeros de postgrado del CATIE por asignar mi beca de estudio.

A Gis por tu apoyo y amistad.

A Lore, Mina, Leila y Jonathan, Nito, Chocho, Chagui, Eddy y a las compañeras y compañeros de la promoción 96-97, los cuales con su amistad hicieron mi estadía en CATIE muy amena y feliz.

CONTENIDO

Resumen	viii
Summary	x
Lista de Cuadros	xii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Anexos	xvi
I	
Introducción	1
II	
Objetivos	3
2.1	Objetivo general 3
2.2	Objetivos específicos 3
III	
Hipótesis	3
IV	
Revisión de literatura	4
4.1	La agricultura ecológica 4
4.2	La lombricultura 5
4.3	La lombriz de tierra: características generales 6
4.3.1	Clasificación de la lombriz <i>Eisenia fetida</i> 8
4.3.2	Características morfológicas y fisiológicas de la lombriz 9
4.3.3	Factores que afectan las lombrices 13
4.3.3.1	Temperatura y humedad 13
4.3.3.2	Calidad del sustrato 14
4.3.3.3	El pH 16
4.3.4	Efecto de las lombrices en el sustrato 17
4.4	Crianza y manejo de las lombrices 21
4.4.1	Infraestructura 21
4.4.2	Preparación del sustrato 22
4.4.3	Introducción o inoculación de las lombrices 23
4.4.4	Manejo del lombricultivo 23
4.4.5	Recolección de los productos 24
4.5	El lombricompuesto 25
4.6	La pulpa de café 27

V	Materiales y métodos	30
5.1	Fase I	30
5.1.1	Localización	30
5.1.2	Material experimental	31
5.1.3	Tratamientos y diseño experimental	32
5.1.4	Manejo del experimento	33
5.1.5	Variables evaluadas	34
5.1.5.1	Comportamiento biológico de las lombrices	34
5.1.5.2	Producción de lombricompuesto	35
5.1.5.3	Tiempo requerido para procesar la pulpa	35
5.1.5.4	Características químicas y físicas de la pulpa de café en los diferentes períodos de descomposición y el lombricompuesto	35
5.1.5.5	Presencia de plagas visibles	36
5.1.6	Análisis de los datos	36
5.2	Fase II	37
5.2.1	Material experimental	38
5.2.2	Tratamientos y diseño experimental	39
5.2.3	Manejo del experimento	39
5.2.4	Variables evaluadas	40
5.2.4.1	Producción de lombricompuesto	40
5.2.4.2	Número de lombrices por tratamiento	40
5.2.4.3	Tiempo requerido para el procesamiento de la pulpa	41
5.2.4.4	Presencia de plagas visibles	41
5.2.5	Análisis de los datos	41
VI	Resultados y discusión	43
6.1	Fase I	43
6.1.1	Análisis del comportamiento biológico de las lombrices	43
6.1.1.1	Mortalidad de lombrices inoculadas	43
6.1.1.2	Número de cápsulas	45
6.1.1.3	Número de lombrices juveniles	51
6.1.1.4	Biomasa (peso fresco) de las lombrices	53
6.1.2	Producción de lombricompuesto	55
6.1.2.1	Porcentaje de peso y volumen de pulpa convertida a lombricompuesto	55
6.1.3	Tiempo requerido para procesar la pulpa	59
6.1.4	Características químicas y físicas de la pulpa y el lombricompuesto	61

6.1.4.1	Características químicas de la pulpa en los diferentes períodos de descomposición y del lombricompuesto producido	61
6.1.4.2	pH de la pulpa con diferentes períodos de descomposición	66
6.1.4.3	pH del lombricompuesto	67
6.1.4.4	Temperatura del sustrato durante el proceso de descomposición	69
6.1.4.5	Temperatura del sustrato durante la acción de las lombrices	70
6.1.5	Análisis físico de la pulpa y el lombricompuesto	71
6.1.5.1	Densidad aparente de la pulpa	71
6.1.5.2	Densidad aparente del lombricompuesto	72
6.1.6	Presencia de plagas visibles	74
6.2	Fase II	74
6.2.1	Producción de lombricompuesto	74
6.2.1.1	Porcentaje de peso y volumen de la pulpa convertida a lombricompuesto según el método utilizado	74
6.2.1.2	Número final de lombrices por tratamiento	76
6.2.1.3	Tiempo requerido para el procesamiento de la pulpa	77
6.2.2	Presencia de plagas visibles	78
VII	Conclusiones	79
VIII	Recomendaciones	81
IX	Bibliografía	82
X	Anexos	89

SILES C, J. 1997. Producción de abono orgánico con pulpa de café mediante el lombricompostaje. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 94p.

Palabras claves: Agricultura orgánica, abono orgánico, pulpa de café, lombricompostaje, *Eisenia fetida*, lombriz.

RESUMEN

Se realizó un estudio en dos fases para contribuir al conocimiento del lombricompostaje de la pulpa de café con el objetivo de producir abono orgánico. En la fase I se evaluó el efecto del grado de descomposición de la pulpa de café y la densidad de lombrices, *Eisenia fetida*, sobre la producción del lombricompostado y el comportamiento biológico de la lombriz. En la fase II se evaluaron tres métodos de alimentar a las lombrices utilizando canastas plásticas como lecho y se estimó el potencial de *Eisenia fetida* para procesar grandes cantidades de pulpa de café.

La fase I se realizó en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial de los tratamientos con parcelas divididas en el tiempo y cuatro repeticiones. Los tratamientos resultaron de la combinación de tres densidades (100, 200 y 300 lombrices) en un volumen de 4200 cm³ y cinco periodos de descomposición de la pulpa (0, 7, 14, 21 y 28 días).

La fase II se realizó en San Isidro del General, Costa Rica. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: suministro gradual de sustrato, retiro gradual del lombricompostado, suministro total del sustrato y retiro total del lombricompostado. Como lechos se utilizaron canastas plásticas perforadas en el fondo y los lados, de 48 cm largo x 30,5 cm ancho x 28,5 cm alto (0,042 m³).

En la fase I se determinó, a través del tiempo, el número de cápsulas (huevos), lombrices juveniles y porcentaje de mortalidad. Al final del ensayo se determinó el incremento de biomasa de las lombrices, el número final de lombrices, el porcentaje en peso seco y en volumen de pulpa que fue transformada en lombricompostado y el contenido de nutrientes del lombricompostado.

En la fase II se evaluó el porcentaje de peso y volumen de pulpa que se convirtió a lombricompostado, el número final de lombrices por tratamiento, el tiempo requerido para el procesamiento de la pulpa y la presencia de plagas.

Los tratamientos afectaron la mortalidad de las lombrices; el porcentaje de mortalidad acumulado fue mayor en la pulpa con 0 días de descomposición (87,7%) y en la pulpa con más de 7 días de descompuesta fue inferior al 10,5%. El porcentaje acumulado de mortalidad mayor ocurrió en la densidad de 100 lombrices (24,7%) y el menor en la densidad de 300 (19,6%). El porcentaje de mortalidad disminuyó en tiempo (número de conteo).

La mayor producción de cápsulas (697) se produjo con la densidad de 100 lombrices y la pulpa 28 días de periodo de descomposición, le siguió en orden

descendente la densidad 100 lombrices con pulpa de 21 días de descompuesta. Para pulpa fresca (0 días de descompuesta) no produjo cápsulas.

El número de lombrices juveniles también fue mayor en la densidad de 100 lombrices y pulpa con 28 días de descompuesta (83 individuos), aunque la interacción no fue estadísticamente significativa. Como factor individual la pulpa de 28 días de descompuesta produjo más lombrices juveniles (233 individuos), valor que fue estadísticamente diferente a los obtenidos por los otros períodos de descomposición de la pulpa; para densidades no hubo diferencias.

La densidad de lombrices fue el factor más importante para determinar el incremento de la biomasa. El incremento fue mayor en la densidad de 100 lombrices y sus valores oscilaron entre 311 y 327 g en la pulpa con más de siete días de descomposición.

Para una mayor producción de lombricompost se requiere que la pulpa tenga más de 14 días de descomposición. Estas permiten obtener porcentajes de peso seco de pulpa transformada a lombricompost superiores al 30%.

La velocidad de procesamiento de la pulpa está relacionada con la densidad de lombrices, la densidad de 300 lombrices procesó la pulpa en 40 días y su media fue significativamente diferente de las otras dos densidades.

El lombricompostaje de la pulpa de café produjo abono orgánico de alto valor nutritivo: contenido promedio del N de 1,8 a 3,04%; K de 1,89 a 2,25%; materia orgánica de 47 a 68,3%, P de 0,2%, Ca de 0,9 a 1,0%, Mg de 0,4%, Cu de 49 a 55 mg/kg, Mn de 232 a 299 mg/kg y Zn de 27 a 52 mg/kg. Además, el lombricompostaje de la pulpa de café neutralizó el pH de esta.

La relación C/N del lombricompost varió entre 12 y 18 y fue menor que en la pulpas con diferentes períodos de descomposición (15 a 25); esto evidencia que el proceso de descomposición fue satisfactorio.

Hubo un aumento de la densidad aparente del lombricompost, con rangos entre 0,2 a 0,5 g/cm³, en relación con la de la pulpa con diferentes períodos de descomposición utilizada: de 0,04 a 0,1 g/cm³.

El uso de lombrices en canastas plásticas como método para procesar pulpa de café, mostró tener el potencial de procesar 1,2 ton de pulpa con 28 días de descomposición al año por metro cuadrado, utilizando una densidad inicial de 8880 lombrices/m².

Hubo diferencias entre los métodos de alimentación porque se encontraron variaciones significativas en la producción de lombricompost: 7,5, 29 y 41 kilogramos promedio en los tratamientos, número de lombrices: 3301, 6805 y 7459 individuos promedio por tratamiento y tiempo para procesar, 40, 52 y 53 días por tratamiento. El mejor método de alimentación utilizando canastas plásticas, por su rendimiento de lombricompost(47%) y reproducción de lombrices, fue el método suministro gradual de sustrato.

SILES C, J. 1997. The production of organic fertilizer from coffee pulp through vermicomposting. MSc. Tesis , Turrialba, C.R., CATIE. 94p.

Key words: Organic agriculture, organic fertilizer, coffee pulp, vermicomposting, *Eisenia fetida*, earthworm.

SUMMARY

A study was undertaken in two phases to contribute towards the knowledge of the vermicomposting of coffee pulp, with the objective of producing organic fertilizer. Phase I evaluated the effects of the degree of decomposition of the coffee pulp and the density of earthworms *Eisenia fetida*, on the production of vermicompost, and the biological behavior of the earthworm. Phase II evaluated three methods of feeding the earthworms using plastic boxes and estimated the potential of *Eisenia fetida* to process large amounts of coffee pulp.

Phase I of the study was conducted at CATIE, Turrialba, Costa Rica. A random block design was used with factorial arrangement of the treatments and split plots in time with four repetitions. The treatments comprised the combination of the three densities of worms (100 , 200 and 300 earthworms) in 4200 ml of coffee pulp with five (5) different periods of decomposition (0, 7, 14, 21 and 28 days).

Phase II of the study was conducted at San Isidro del General, Costa Rica. A random block design with four repetitions was utilized for the following treatments: gradual supply of the substrate; gradual withdrawal of vermicompost; total supply of the substrate and the total withdrawal of the vermicompost. Perforated plastic boxes, 48 cm long x 30.5 cm wide x 28.5 cm high (0.042 m³) were used to contain coffee pulp that was allowed to decompose for 28 days and 1300 earthworms.

During phase I, the number of earthworm capsules (eggs), juveniles and percentage mortality were determined over time. At the end of the experiment the increase in biomass fresh weight of the worms and the final earthworm population were determined. The percentage dry weight and the volume of pulp that was transformed into vermicompost, as well as the nutrient content of the vermicompost were also determined.

In phase II, the volume and percent weight of pulp that was converted to vermicompost, the final population of worms by treatment, the time required for the processing of the pulp and pest attack were evaluated.

The treatments affected the mortality of the earthworms. The percent accumulated mortality was higher in the case of the pulp that had 0 days decomposition (87.7%) than in the pulp with more than 7 days decomposition which was less than 10.5%. The greatest percent accumulated mortality occurred at the density of 100 earthworms (24.7%) and lowest at the density of 300 worms (19.6%). The percent mortality reduced over time.

The highest capsule production (697) was obtained at the density of 100 earthworms in pulp with 28 days decomposition, followed by 100 earthworms in pulp with 21 days decomposition. Fresh pulp (0 days decomposition) did not produce capsules. The number of juvenile earthworms was also higher at the density of 100 earthworms in pulp with 28 days decomposition (83 earthworms). Although the interaction was not statistically significant. As an individual factor, the pulp with 28 days decomposition produced more juvenile earthworms (233); a value that was statistically different from the other coffee pulps with different periods of decomposition. There were no significant differences in juvenile earthworm production between the different densities.

The density of earthworms was the most important factor influencing the increase in biomass. The increase was greatest at the density of 100 worms and the values ranged between 311 and 327 g in the pulps with more than 7 days decomposition.

For higher production of vermicompost, the pulp should have more than 14 days of decomposition. This time allows for dry weight percentages of pulp transformed to vermicompost greater than 30%.

The speed at which the pulp is processed is related to the density of the worms. The density of 300 earthworms processed the pulp in 40 days and its mean was significantly different from the other two (2) densities.

Vermicomposting of coffee pulp produces organic fertilizer of high nutritive value with average N content (1.8 to 3.04%), K (1.89 to 2.25), Organic Matter (47 to 68.3%), P (0.2%), Ca (0.9 to 1%), Mg (0.4%), Cu (49 to 55 mg/kg) and Zn (27 to 52 mg/kg). In addition, the vermicomposting of the coffee pulp neutralized the pH of the pulp.

The C/N ratio of the vermicompost varied between 12 and 18 and was less than in the pulp with different periods of decomposition (15 to 25). This C/N ratio shows the stability of the composting process. There was an increase in the bulk density of the vermicompost - between 0.2 to 0.5 g/cm³, in relation to the bulk density of the coffee pulp with different periods of decomposition (0.04 to 0.1 g/cm³).

The use of earthworms in plastic boxes (28,5 cm high) to process coffee pulp was found to have the potential of processing 1.2 tons of coffee pulp, with 28 days decomposition, per m²/year using an initial density of 8880 earthworms/m².

There were significant differences between the feeding methods with respect to the production of vermicompost, with means of 7.5, 29 and 41 kilograms within the treatments. The mean number of earthworms, by treatment, were: 3301, 6805 and 7459. The mean time to process the pulp in the different feeding treatments were: 40, 52 and 53 days. Based on the production of vermicompost (47%), and the reproduction of earthworms, the best feeding treatment, using plastic boxes, was the gradual supply of substrate.

LISTA DE CUADROS

Cuadro	página
1. Características de las categorías ecológicas de las lombrices.	7
2. Clasificación de las lombrices por el tipo de alimento que ingieren.	7
3. Características generales del lombricompuesto producido en Cuba.	27
4. Contenido de azúcares libres de la pulpa de café.	29
5. Composición química aproximada de la pulpa de café.	29
6. Porcentajes de mortalidad de lombrices inoculadas promedios y acumulado para los diferentes tratamientos y número de conteos.	43
7. Número promedio de cápsulas producidas en los diferentes tratamientos y número de conteos.	46
8. Modelo de regresiones para el número de cápsulas de acuerdo al PDP por la densidad y fecha de conteo.	47
9. Número promedio de lombrices juveniles producidas en los diferentes tratamientos y número de conteos.	51
10. Variación promedio de la biomasa (g de peso fresco) en los diferentes periodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices.	53
11. Resultados de la comparación de medias para la variable incremento en el peso de las lombrices.	54
12. Porcentaje promedio de pulpa, con base en peso seco y volumen, que fueron transformados en lombricompuesto en los diferentes tratamientos.	55
13. Resultados de la comparación de medias para el porcentaje del peso de pulpa convertida a lombricompuesto.	56
14. Modelos de regresión para el porcentaje de peso y volumen de pulpa convertida a lombricompuesto, de acuerdo al periodo de descomposición de la pulpa y la densidad.	56

15.	Número de días promedio necesarios para procesar la pulpa en los diferentes períodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices.	60
16.	Resultados de la comparación de medias de las diferentes densidades para la variable tiempo para procesar la pulpa.	60
17.	Análisis químico de la pulpa con los diferentes períodos de descomposición.	61
18.	Análisis químico del lombricompuesto obtenido de los diferentes tratamientos.	62
19.	Variación porcentual del contenido de elementos químicos del lombricompuesto con respecto a la pulpa, con los diferentes períodos de descomposición en los tratamientos.	63
20.	Resultados de la comparación de medias para la variables contenido de nitrógeno, zinc y materia orgánica en el lombricompuesto.	65
21.	Valores promedio del pH de la pulpa de café con diferentes períodos de descomposición.	66
22.	Valores promedio del pH del lombricompuesto obtenidos en los diferentes tratamientos.	67
23.	Resultados de la comparación de medias para la variable pH del lombricompuesto.	68
24.	Temperaturas promedio de la pulpa con diferentes períodos de descomposición durante la acción de las lombrices para las fechas de conteo.	70
25.	Resultados de la comparación de medias para la variable densidad aparente de la pulpa con diferentes estados de descomposición.	71
26.	Valores medios de densidad aparente del lombricompuesto en g/cm ³ obtenidos en los tratamientos.	72
27.	Comparación de medias para la densidad aparente del lombricompuesto proveniente de las pulpas con diferentes períodos de descomposición y densidades de lombrices.	72

28.	Porcentaje promedio de pulpa, con base en el peso seco, que fue transformada a lombricompuesto en los diferentes tratamientos.	74
29.	Porcentaje promedio del volumen de la pulpa que fue transformada a lombricompuesto en los diferentes tratamientos.	75
30.	Número total de lombrices en los diferentes tratamientos al final del período de evaluación (el número inicial de lombrices inoculadas fue de 1300 en todos los tratamientos).	76
31.	Resultados de la comparación de medias para el número de días necesarios para procesar la pulpa, de acuerdo con los diferentes métodos de alimentación.	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1. La lombriz de tierra (Fuente: Tineo, 1994).	9
2. Posición de la lombriz en la fase de acoplamiento y liberación de la cápsula (Fuente; Longo, 1987).	10
3. Ciclo productivo de la lombriz (Fuente: Martínez, 1996).	11
4. Sistema digestivo de la lombriz (Fuente Tineo, 1994).	12
5. Procesamiento del café por vía húmeda (Coto, 1992).	28
6. Variación del porcentaje promedio de mortalidad en los diferentes PDP por número de conteo.	44
7. Variación del número promedio de cápsulas producidas en las densidades por pulpas para el segundo conteo.	46
8. Variación de la producción de cápsulas en los diferentes PDP por densidades para el segundo conteo.	48
9. Variación en la producción de cápsulas de las densidades por los diferentes PDP para el tercer conteo.	49
10. Cambios en la producción de cápsulas de los diferentes PDP por las densidades para el tercer conteo.	49
11. Variación de la producción de lombrices juveniles en las pulpas por número de conteo.	52
12. Variación de la producción de lombrices juveniles en las densidades por número de conteo.	52
13. Variación promedio de la biomasa de las lombrices en las densidades por períodos de descomposición de la pulpa.	54
14. Variación en el porcentaje de peso seco de la pulpa que se transformó a lombricompuesto en las densidades por PDP.	57
15. Variación en el porcentaje de volumen de la pulpa transformada a lombricompuesto en los PDP por densidad de lombrices.	58

16.	Variación en el porcentaje de volumen de la pulpa transformada a lombricompuesto en las densidades por PDP.	58
17.	Variación de la relación C/N en la pulpa inicial con diferentes estados de descomposición para las densidades y el lombricompuesto resultante.	64
18.	Variación del pH en las pulpas con diferentes estados de descomposición.	67
19.	Variación del pH en las pulpas con diferentes períodos de descomposición y el lombricompuesto producido al final de los tratamientos.	69
20.	Variación de la temperatura para la pulpa con diferentes tiempos de descomposición.	69
21.	Variación de la densidad aparente en las pulpas con diferentes períodos de descomposición y del lombricompuesto producido en los tratamientos.	73

LISTA DE ANEXOS

Cuadro	página
A.1. Resultado de la prueba de F para las variables de la biomasa.	89
A.2. Resultado de la comparación de medias para la porcentaje de mortalidad de lombrices.	89
A.3. Resultados de la comparación de medias para la producción de cápsulas.	90
A.4. Resultados de la comparación de medias para la producción de lombrices juveniles.	90
A.5. Resultado de la prueba de F para la variable biomasa (peso fresco) de las lombrices.	90
A.6. Resultado de la prueba de F para las variables utilizadas para determinar la producción de lombricompuesto por tratamientos.	91
A.7. Resultado de la prueba de F para la variable días necesarios para procesar la pulpa.	91
A.8. Resultado de la prueba de F para las variables del análisis químico.	92
A.9. Resultado de la prueba de F para la variable pH.	92
A.10. Resultado de la prueba de F para las variables del análisis físico.	93
A.11. Resultado de la prueba de F para las variables de la fase II.	93

I. INTRODUCCION

El aprovechamiento de los residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio para mejorar la producción, reducir la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, mejorar y hacer más sostenible la productividad del suelo, utilizar los recursos locales disponibles para el productor, responder a la creciente demanda internacional de productos agrícolas libres de agroquímicos y de hacer más eficiente el ciclaje de nutrientes en la biosfera.

El cultivo del café en Costa Rica es una de las principales actividades agrícolas. El proceso inicial del beneficiado húmedo consiste en la eliminación de la cubierta externa del fruto - la pulpa del café - que representa el 40% del peso fresco del fruto, la cual es considerada como un subproducto de desecho.

En Costa Rica parte de la pulpa es secada y utilizada como fuente energética en los beneficios, pero la mayor parte es amontonada y/o distribuida en los cafetales u otros campos de cultivo, generalmente a nivel superficial, ocasionando problemas de malos olores, proliferación de moscas, contaminación de aguas y pérdida de buena parte de su potencial nutricional. Además, por lo voluminoso del material y su contenido de humedad, resulta difícil su transporte, manejo y distribución en el campo.

La generación y manejo de subproductos del café constituye un problema ambiental de grandes proporciones en las cuencas, situación que se ve agravada porque las áreas cafetaleras y la mayor parte de los beneficios de café (60%) que funcionan en el país, se localizan cerca de zonas urbanas, principalmente en el Valle Central (Coto, 1992).

Por ejemplo, en la cuenca del río Tárcoles (principal receptor de la carga orgánica del Valle Central) el procesamiento de 3,6 millones de fanegas de café durante la cosecha 91-92, generó 1,5 millones de fanegas de pulpa y mieles y 3 millones de metros cúbicos de aguas residuales (Coto, 1992). La producción anual de pulpa de café en Costa Rica para el año 1994-1995 fue de 276.000

toneladas de peso fresco (ICAFE, 1995). Enríquez y López (1997) estimaron que para la cosecha 1996 se produjeron 372.000 toneladas de pulpa de café.

A pesar que existen diversas opciones para utilizar la pulpa de café, parece ser que la producción de abono es la más utilizada y de mayor potencial ecoambiental. Sin embargo, la dificultad estriba en realizar esta actividad de manera eficiente y económica. Es en este sentido, que la lombricultura surge como una opción importante para transformar esa fuente de contaminación y degradación de los recursos naturales, en abono orgánico de excelentes características físicas, químicas y biológicas, totalmente compatible con la agricultura conservacionista promovida hoy a nivel mundial.

Si bien se han realizado investigaciones sobre el potencial y uso de la lombricultura para producir abono orgánico a partir de desechos biodegradables en lugares como Estados Unidos e Inglaterra, la mayoría de esta investigación no ha sido publicada y no se tienen aún respuestas a preguntas científicas básicas como cuál es el mejor método de inoculación de las lombrices, tamaños óptimos de los lechos o métodos de alimentación (Reinecke *et al.*, 1992). De igual manera, el conocimiento actual del uso de la lombricultura en la producción de abono orgánico a partir de pulpa de café, es bastante empírico en el país y se necesita conocer respuestas a preguntas básicas para desarrollar la actividad a pequeña o gran escala. Este trabajo pretende contribuir a un conocimiento más científico de la producción de abono orgánico mediante el lombricompostaje, principalmente en tres aspectos que son de gran relevancia para favorecer un uso más intensivo de esta técnica a nivel de los agricultores: el grado de descomposición que debe tener la pulpa antes de introducir las lombrices, a fin de lograr su mejor comportamiento biológico y productivo; la interacción de este factor con la densidad poblacional de lombrices, como base para poder dimensionar la velocidad y cantidad de sustrato que se puede procesar a través de esta técnica y finalmente, la forma de alimentación más eficiente.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento del lombricompostaje de la pulpa de café, como método alternativo de reducir la contaminación por ese material, producir abono orgánico y promover la agricultura conservacionista.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Evaluar el efecto del grado de descomposición de la pulpa de café y la densidad de lombrices, de la especie *Eisenia fetida*, sobre la producción del lombricompostado, el tiempo requerido para producirlo y el comportamiento biológico de la lombriz.
2. Estimar el potencial de la lombriz *Eisenia fetida* para procesar grandes volúmenes de pulpa de café.
3. Evaluar cuál es el mejor método de alimentar a las lombrices: suministro gradual de sustrato, retiro gradual del abono, suministro total del sustrato y retiro total del abono.

III. HIPOTESIS

1. El grado de descomposición de la pulpa de café y la densidad de lombrices, no afecta el tiempo requerido para el procesamiento de la misma ni el comportamiento biológico de la lombriz.
2. El uso de la lombriz *Eisenia fetida* para procesar la pulpa del café no es una alternativa para procesar grandes volúmenes de pulpa.
3. No hay diferencia entre los métodos de alimentar las lombrices con respecto a la eficiencia de producción de abono orgánico.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 LA AGRICULTURA ECOLOGICA

Una cantidad de actividades productivas de la agricultura han causado externalidades en el medio ambiente. Algunas externalidades agrícolas han causado problemas de erosión, con la consecuente pérdida de nutrientes y humus, inundaciones, desertificación, pérdida de la diversidad genética, contaminación del suelo y el agua entre otros. Los sistemas agrícolas modernos, para mantener sus altos rendimientos, hacen uso de condiciones ambientales artificiales, las cuales, una vez que no se pueden mantener provocan que la producción colapse (Tisdell, 1991).

La agricultura, como la naturaleza, se encuentra en un constante proceso dinámico de desarrollo y cambio debido a la variación del ambiente productivo, y a su entorno económico y social. Nace así, como una opción a la producción, la agricultura ecológica, definida como las actividades silvoagropecuarias realizadas mediante el manejo integral de los recursos, con las cuales la gente en su ambiente, por medio del uso de tecnologías apropiadas, posibilita su conservación y recuperación, obteniendo beneficios sociales, económicos y espirituales (Neugebauer, 1993). Es con este enfoque que una actividad como el beneficiado húmedo del café, que produce una gran cantidad de material orgánico en las áreas urbanas, podría reducir por medio de la lombricultura, la contaminación del los ríos.

Alfaro y Rodríguez (1994) exponen la importancia de estudios tendientes al aprovechamiento de los residuos del beneficiado del café, los cuales generen vías alternativas de ingreso, provenientes de recursos, que pese a su potencial económico, hoy son considerados como residuos o materiales de desecho y causantes de problemas ambientales.

4.2 LA LOMBRICULTURA

Carlos Darwin en su libro " La formación de la cubierta vegetal por la acción de las lombrices", fue quien estableció la importancia de estos organismos en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, demostró la gran cantidad de suelo que ellas movilizan e impulsó el interés por su estudio.

La lombricultura es una biotecnología que utiliza a la lombriz como una herramienta de trabajo para la transformación de desechos orgánicos (Martínez, 1996). Esta biotecnología se basa en la utilización de lombrices de tierra, adaptadas a vivir en condiciones de cautiverio, con capacidad de reciclar una amplia gama de materiales orgánicos, tales como guanos, rastrojos de cultivos, residuos de agroindustrias, estiércoles, basuras biodegradables y otros, transformándolos en dos productos básicos: humus de lombriz, que es un gran fertilizante, rico en nitratos, fosfatos, carbonato potásico, y proteína (Tineo, 1994).

La lombricultura es una técnica para reciclar desechos orgánicos difundida en Europa, Asia y América. Tineo (1994) menciona que en Colombia se utiliza la lombricultura para la exportación de "*pies de cría*", como alimento para uso pecuario o como concentrado en forma de harina; la Federación de Cafeteros lo está dirigiendo a campesinos de la zona cafetalera para transformar los residuos del café en humus, y también para suministrarlo a los cerdos, gallinas y la cría de peces. El mismo autor agrega que en Perú, a partir de 1987, diversas instituciones y empresas pusieron en práctica esta biotecnología para el reciclaje de los desechos orgánicos, utilizando lombrices de la especie *Eisenia fetida* adaptadas a vivir en cautiverio.

Parte de la importancia de las lombrices para manejar los desechos orgánicos ha sido resumido por Sabine (1988) de la siguiente manera:

- Las lombrices reducen las características nocivas en los desechos orgánicos, como son los malos olores y las poblaciones de microorganismos dañinos para los seres humanos.
- Las especies domesticadas alcanzan altas densidades en poco tiempo y son fáciles de manejar en lechos o camas.

- Los subproductos son utilizados como fertilizantes orgánicos en el caso del lombricompuesto y se puede obtener harina de lombriz con altos contenidos de proteína para la alimentación animal o humana.

Martínez (1996) expone que la lombricultura, desde el punto de vista ecológico, reduce los problemas de contaminación generados por las grandes cantidades de desechos orgánicos originados por la actividad humana, los cuales deterioran el paisaje y los recursos naturales.

4.3 LA LOMBRIZ DE TIERRA: CARACTERISTICAS GENERALES

Las lombrices de tierra en los trópicos son extremadamente diversas. De las trece familias descritas se incluyen cientos o miles de especies que no han sido descritas hasta el momento. En los trópicos podemos encontrar lombrices oligohúmicas endogénicas, carnívoras como las del género *Agastrodilus*, especies *Dichogaster* que viven en la base de los nidos de termitas y especies facultativas o obligadas a vivir en los árboles (Lavelle y Barois, 1988).

Debido a la existencia de diferencias ecológicas y fisiológicas en las lombrices, que determinan el tipo de ambiente y sustrato (o suelo) en donde éstas se pueden desarrollar, de las 2000 especies de lombrices descritas a nivel mundial, solamente unas cuantas son utilizadas para su crianza en residuos orgánicos (Aranda, 1991).

La lombrices se han adaptado a las condiciones del suelo por medio de sus regímenes de alimentación, su localización en los diferentes horizontes del suelo, su tamaño, pigmentación, morfología y algunos comportamientos específicos de adaptación. Se han definido tres principales clasificaciones ecológicas de las lombrices, en función de los caracteres adaptativos desarrollados por éstas frente a los condicionantes del medio ambiente donde habitan. Las tres categorías ecológicas son: epíginas, anélicas y endógenas (Motalib Rida, 1984; Lavelle, 1988, Martínez, 1996). En el Cuadro 1 se presentan las principales características de estas categorías. Martínez (1996) clasifica las lombrices por

los tipos de alimento ingerido. Algunas prefieren lugares donde existen grandes cantidades de materia orgánica, otras por el contrario prefieren tierra, lodos o fango. En el Cuadro 2 se detalla la clasificación de las lombrices por el tipo de alimento.

Cuadro 1. Características de las categorías ecológicas de las lombrices.

CARACTERISTICAS	EPIGEAS	ANELIDAS	ENDOGENAS
Maduración	Rápida	Moderada	Moderada
Reproducción	abundante	muy limitada	limitada
Fecundidad	importante	baja	baja
Capullos/adulto/año	(42-106)	(3-13)	(8-27)
Regeneración	nula	importante	variable
Respiración	elevada	modesta	débil
Forma de resistencia	capullo	diapausa	quiescencia
Biomasa (%)			
zona templada	muy pequeña	importante	media
zona tropical	pequeña	pequeña	importante
Tamaño(mm)	10-30	200-1100	variable
Pigmentación	homocrómica	oscura	apigmentada
Mobilidad	rápida	moderada	pequeña
Galerías	no en el suelo	subverticales	subhorizontales
Alimentación	materia orgánica	materia orgánica y suelo	suelo más o menos orgánico
Habitat	en superficie	en movimiento	en profundidad
pH del suelo	2,83-8,16	4,68-8,30	2,83-8,55
Función	degradabilidad de a M. O. lombricompuesto. alimentación de animales domésticos y silvestres.	desaparición del Lecho. Macroporosidad, aireación, drenaje. alimentación de animales silvestres.	estructura macroporosidad microporosidad aireación, drenaje.

Fuente: Adaptado de Motalib Rida, 1984.

Cuadro 2. Clasificación de las lombrices por el tipo de alimento que ingieren.

CATEGORIA ECOLOGICA	TIPO DE ALIMENTO
Geófagas	tierra
Limífagas	lodos y fangos
Saprófagas	materia orgánica en descomposición

Fuente: Martínez, 1996.

Edwards (1988) y Edwards y Bater (1992) reportan varias especies de lombrices capaces de procesar material orgánico. Ellos reportan a *Eisenia fetida* como una de las especies más promisorias para procesar desechos orgánicos, *Eisenia fetida* se presenta en forma natural procesando muchos de los desechos orgánicos, tiene un rango amplio de tolerancia a las temperaturas y a la humedad, es una lombriz fácil de manipular y cuando se encuentra mezclada con otro tipo de lombrices, usualmente llega a ser dominante. *Eudrilus eugeniae*, de mayor tamaño, crece y se reproduce rápidamente, convirtiéndose en la especie ideal para la producción de proteína. Sin embargo, tiene poca tolerancia a los cambios de temperatura y es difícil de manipular. *Perionyx excavatus* se considera promisorio a la par de *Eisenia fetida*, con el único inconveniente para trabajarla en zonas templadas es que las temperaturas adversas le afectan, pero para condiciones del trópico, se presenta como una buena especie. Edwards (1988) reporta que de las cinco especies con mayor potencial para procesar material orgánico, tres especies: *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta* y *Lumbricus rubellus* provienen de climas templados, *Eudrilus eugeniae* es de origen africano y *Perionyx excavatus* proviene de Asia.

Aranda (1992) reporta las siguientes especies de lombrices desarrollándose y procesando la pulpa de café en México: *Eisenia fetida fetida*, *Eisenia andrei*, *Peryonix excavatus*, *Lumbricus rubellus*, *Amyntas gracilis*, *Dichogaster* sp. y *Bimastus* sp. Agrega además, que las poblaciones de *Eisenia fetida fetida* y *Peryonix excavatus*, reportadas procesando pulpa de café en terrenos abandonados, alcanzaron niveles de 2.500 lombrices (590 gr de peso fresco) por cada 10 L de volumen aparente de pulpa; pero estas se encontraban exclusivamente localizadas en los estratos superficiales de la pulpa (10 a 20 cm).

4.3.1 CLASIFICACION DE LA LOMBRIZ *Eisenia fetida*

Según Compagnoni (1988); Pérez (1992); Tineo (1994); Martínez (1996) y Girón *et al.* (1997), dentro de las especies del Filum Anélida está *Eisenia fetida*, la cual es utilizada mayormente para el procesamiento de desechos orgánicos a nivel de finca e

industrialmente. *Eisenia fetida*, conocida como la lombriz roja californiana, se clasifica de la siguiente manera:

- Reino : Animal
- Filum : Annelida
- Clase : Oligochaeta (anillos con pocas cerdas)
- Orden : Opisthosporos
- Familia : Lumbricidae
- Género : *Eisenia*
- Especie : *fetida*.

4.3.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS DE LA LOMBRIZ

El cuerpo (Figura 1) de la lombriz es cilíndrico y alargado, constituido por dos tubos concéntricos: la pared del cuerpo y el tubo digestivo, separados por el celoma. El celoma está dividido en segmentos llamados metámeros o somitos. El primer somito de la parte anterior es la boca, donde se encuentra el prostomio, estructura carnosa que sobresale delante de ella. El último somito que se encuentra en la parte posterior es el ano (Martínez, 1996).

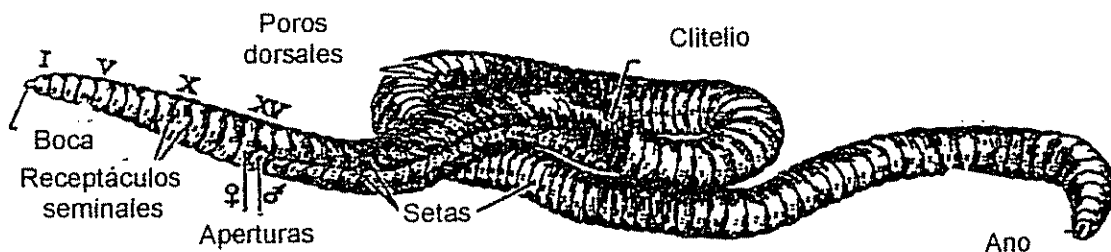


Figura 1. La lombriz de tierra (Fuente: Tineo, 1994).

El color de *Eisenia fetida* es variable, comúnmente con franjas transversales, que cubren cada segmento, de color púrpura, rojo oscuro o rojo castaño. Entre

cada segmento y más angostas que las rojas, se reconocen franjas de color amarillo. El diámetro de la lombriz varía entre 3 a 5 mm y de largo entre 30 y 130 mm; puede tener entre 80 a 131 segmentos o metámeros con un prostomio en forma epibólica (Tineo, 1994).

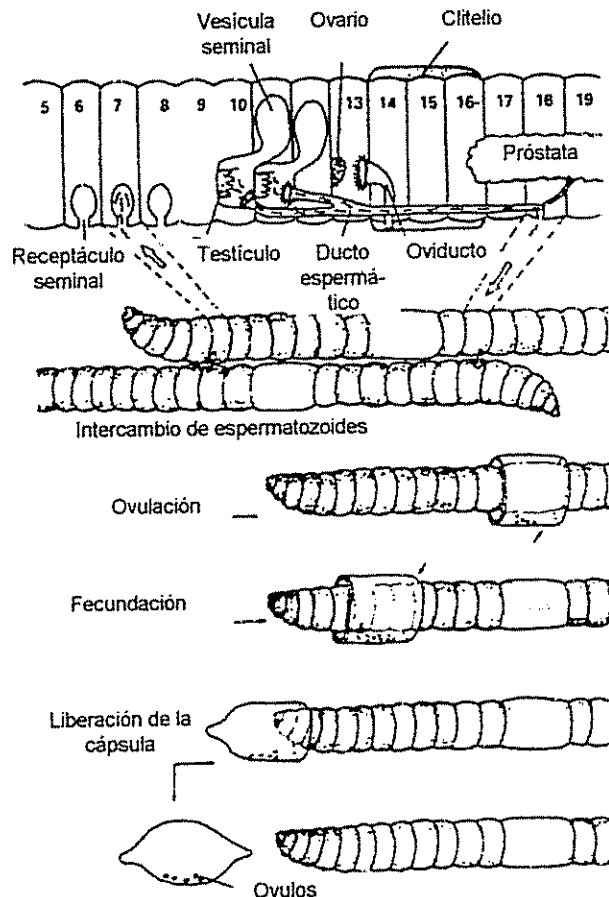


Figura 2. Posición de la lombriz en la fase de acoplamiento y liberación de la cápsula (Fuente; Longo, 1987).

Eisenia fetida es hermafrodita imperfecta, por lo que necesita acoplarse con otra lombriz para el intercambio de semen. En la Figura 2 se presenta la posición de acoplamiento de las lombrices al momento del intercambio de semen. Cluzeau

et al. (1992) exponen que individuos de *Eisenia fetida* aislados desde su nacimiento no se reproducen.

La lombriz roja californiana llega a su madurez sexual (adulta) a los tres meses y su longitud y coloración varían (Riveros, 1994). Vive un promedio de 16 años, se acopla cada siete días y su talla al cabo de 7 meses es de 8 a 10 cm. Dos lombrices pueden producir cada una, en condiciones favorables de clima, unas 1.500 lombrices al año (Ferruzzi, 1994). La Figura 3 muestra el esquema del ciclo reproductivo de la lombriz *Eisenia fetida* (Martínez, 1996).

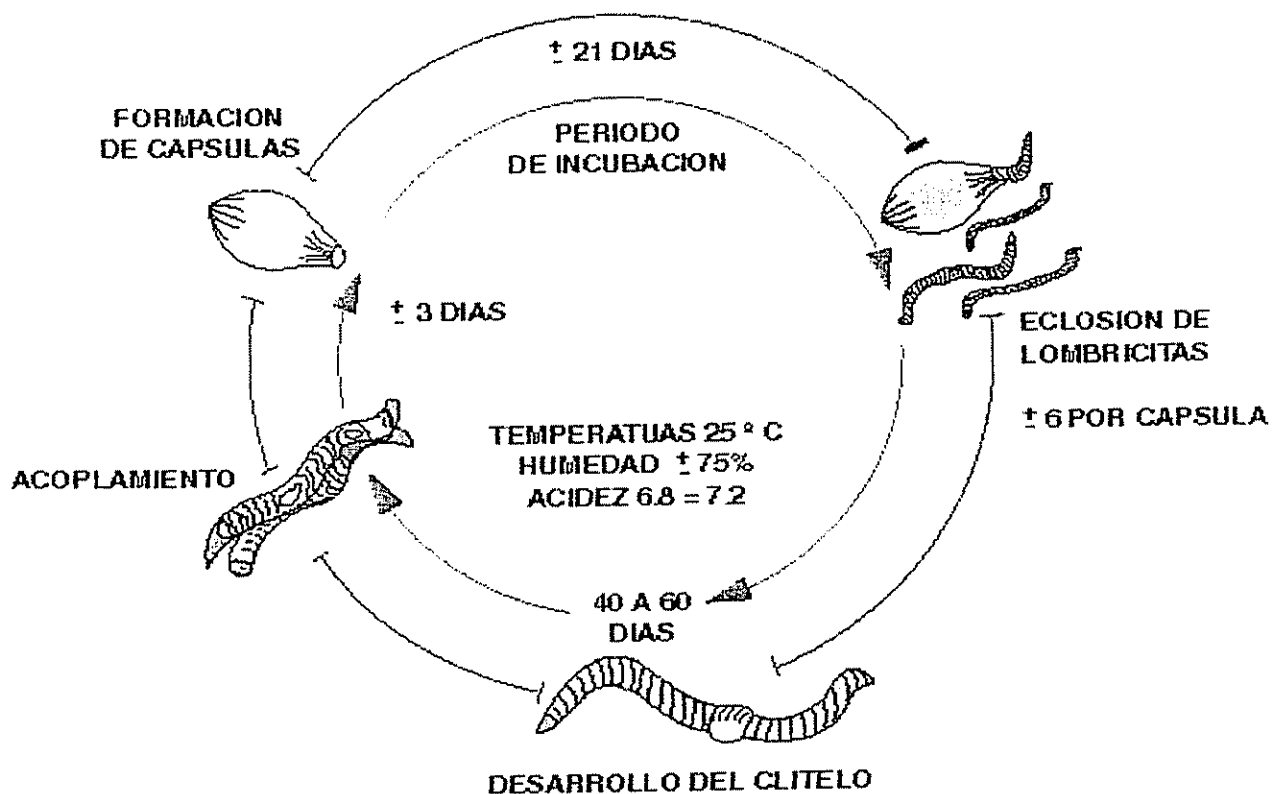


Figura 3. Ciclo productivo de la lombriz (Fuente: Martínez, 1996).

El cuerpo de la lombriz lo cubre una cutícula externa, una capa celular de fibras musculares circulares y longitudinales, donde se alojan los órganos internos. El

sistema digestivo (Figura 4) de las lombrices es diferente de acuerdo con la especie, género o familia, pero como estructura básica consiste de una cavidad bucal, faringe, esófago donde están las glándulas calcáreas, cuya función es excretar carbonato de calcio para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el alimento, el buche entre los segmentos 15 a 16, donde se almacena el alimento, una molleja entre los anillos 17 y 19 y el intestino que va desde el anillo 20 hasta el orificio anal (Domínguez, 1992; Martínez, 1996). Usualmente existen cuatro regiones bien definidas en el intestino de la lombriz, una parte anterior contráctil donde se secretan mucos y proteínas, seguido por una parte media que contiene células glandulares, luego la parte posterior del intestino donde tenemos la membrana peritrófica la cual termina con el ano. Durante el proceso de digestión hay un incremento de hasta 1000 veces el número de microorganismos; (Edwards y Fletcher, 1988; Tiwari y Mishra, 1993) demostraron que las excretas de las lombrices tienen una diversidad de especies fungosas, mayores que el suelo donde se encuentran las lombrices y el incremento se dio después de pasar el alimento por el intestino de las lombrices.

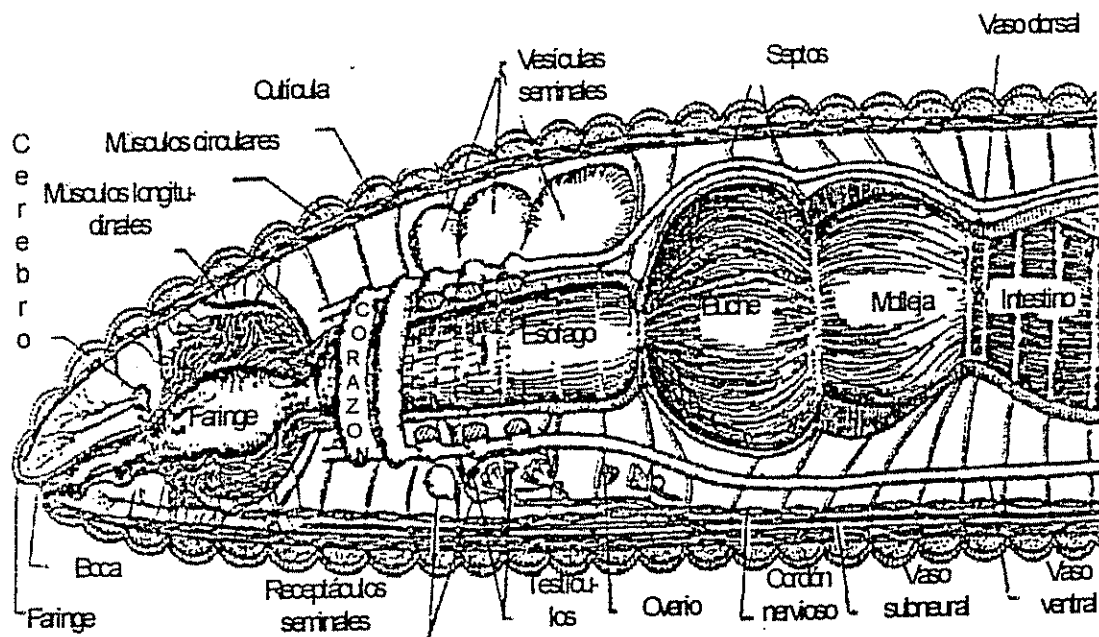


Figura 4. Sistema digestivo de la lombriz (Fuente Tineo, 1994).

4.3.3 FACTORES QUE AFECTAN LAS LOMBRICES

Aranda (1995) indica que no cualquier lombriz puede ser utilizada para transformar los desechos orgánicos en descomposición. Existe en la naturaleza un grupo reducido de lombrices capaces de vivir y desarrollarse en sitios con altas concentraciones de materia orgánica; estas especies son más susceptibles a la resequedad, luz solar directa, su tamaño es menor así como su movilidad. Sin embargo, estas lombrices responden con tasas altas de crecimiento y reproducción, tolerancia a vivir en altas densidades, manipulación y manejo, acidez del sustrato y cambios de temperatura.

El hecho de que las lombrices sobrevivan, crezcan y se reproduzcan exitosamente en desechos orgánicos provenientes de la agricultura, zonas urbanas, industria o agroindustria depende de ciertos parámetros fundamentales como la clase y fuente del sustrato, pH, temperatura, contenido de humedad y compuestos químicos (Hallatt *et al.*, 1992, Edwards, 1995).

4.3.3.1 Temperatura y humedad

Varios autores (Abbott y Parker, 1980; Motalib Rida, 1984), indican que la humedad y la temperatura del suelo afectan las poblaciones y los niveles de actividad de las lombrices, debido al estrés producido por la pérdida de agua corporal, llegando hasta el 60% del peso corporal/día. Cuando la temperatura aumenta y la humedad se reduce significativamente, las lombrices penetran más profundamente en el suelo y reducen su actividad (Andersen, 1980). Las mejores temperaturas para el manejo de las lombrices dependen de los requerimientos de temperatura para la realización de los cuatro procesos biológicos: (1) crecimiento somático, (2) reproducción, (3) mortalidad y (4) eficiencia en la conversión del alimento (Aston, 1988).

Arango y Correa (1992) determinaron que una humedad menor al 85% en los lombridarios disminuye bruscamente la reproducción, y temperaturas entre 19 y 20° C permitieron un rendimiento creciente de la población y postura.

Edwards y Bate (1992) encontraron que el máximo crecimiento de *Eisenia fetida* ocurrió a 30° C y la humedad óptima para su crecimiento fue de 85%; en lo referente a la producción de cápsulas ésta se incrementó cuando la temperatura llegó a 25° C. Kaplan *et al.* (1980) encontraron que en estiércol de caballo y lodos activados *Eisenia fetida* obtuvo los mayores pesos, con una temperatura de 20 a 29° C y una humedad entre 70 y 85%. Neuhauser *et al.* (1988) en su estudio sobre el potencial de las lombrices para el manejo de lodos exponen que temperaturas entre 15 y 25° C no afectaron el crecimiento de *D. veneta* y *E. fetida*.

Shanthi *et al.* (1993) realizaron estudios para determinar requerimientos de temperatura y oxígeno en *Pheretima sp.*, *Eisenia sp.* y *P. escavatus*, encontrando que la actividad, metabolismo, crecimiento, respiración y reproducción son altamente influenciados por el incremento o disminución de la temperatura. En su ensayo ellos encontraron que a temperatura de 40° C *Eisenia fetida* y *P. escavatus* murieron a las 24 horas. Además, colocaron cinco especímenes de *Pheretima sp.*, *Eisenia sp.* y *P. escavatus* en un medio acuoso, para medir los requerimientos de oxígeno y encontraron que *Eisenia fetida* pudo sobrevivir seis días en medio acuoso. Por su parte Escobar (1992) aclara que la *Eisenia fetida* puede vivir con poca cantidad de oxígeno y en altas concentraciones de dióxido de carbono, pero no vive en un medio líquido.

Reinecke *et al.* (1992) reporta que *Eisenia fetida* tiene un rango amplio de tolerancia a la temperatura y se encuentra en áreas donde la temperatura del aire se encuentra entre 40° C y 0° C, debido a que la temperatura del suelo en estas regiones a una profundidad de 10 cm, raramente está debajo de los 25° C o sobre los 33° C.

4.3.3.2 Calidad del sustrato

La calidad de la materia orgánica influye considerablemente en los parámetros poblacionales de la lombriz de tierra. La relación lignina:nitrógeno y

carbono orgánico: N total, marcan la diferencia en la abundancia de lombrices entre pastos y bosque (Torres, 1995). Shanthi *et al.* (1993) indican que se debe determinar el criterio para identificar la posibilidad de un material para ser utilizado como alimento de las lombrices. Ellos establecen que los parámetros generalmente utilizados para estimar la biodegradabilidad de los desechos orgánicos son el carbón orgánico, N y las sustancias orgánicas fermentables. Sin embargo, la relación C:N en sus experimentos resultó con limitaciones para determinar la posibilidad de los materiales ha ser consumidos por las lombrices. Finalmente, ellos determinaron que los materiales con sustancias orgánicas fermentables menores del 20%, pueden ser usadas directamente para la producción de lombricompuesto.

Ciertas sustancias polifenólicas no son apetecibles hasta no ser degradadas por los microorganismos del suelo. Arango y Correa (1992) experimentaron con diferentes sustratos para la alimentación de las lombrices, y encontraron que el estiércol bovino a 25° C y 80% de humedad mantuvo alto el promedio de peso comparado con mezclas como pasto 40% y estiércol 60%.

Por su parte Escobar (1992) indica que la *Eisenia fetida* consume toda clase de materiales menos vidrio, plástico y lata, pero los desechos orgánicos deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. La materia orgánica suministrada no debe tener niveles de proteína superiores al 19% porque el exceso produce una "intoxicación proteica".
2. Se deben controlar las fermentaciones, pues la liberación de amoniaco altera el proceso digestivo de la lombriz y se dificulta la oxigenación del lecho.

León *et al.* (1992) estudiaron el cultivo de *Eisenia fetida* utilizando excreta de cerdo, estiércol de bovino y gallinaza en diferentes proporciones con compost y suelo. Ellos encontraron que la gallinaza proveniente del piso del gallinero con cuatro meses, produjo un 100% de mortalidad en los primeros días; debido a que este material es rico en componentes nitrogenados tóxicos para las lombrices.

Varios autores (Frederickson y Knight, 1988; Hand *et al.*, 1988; Morgan, 1988) trataron la importancia del contenido de celulosa en los desechos orgánicos para alimentar a las lombrices y concluyeron que es necesaria porque parte de la energía proviene de la celulosa. Ferruzzi (1994) expone que independientemente de cual sea la substancia orgánica empleada para alimentar a las lombrices, ésta debe de tener un contenido de celulosa no inferior a un 20 a 25%.

Existe evidencia experimental de que los microorganismos proveen alimento a las lombrices. El contenido de microorganismos como ciertos tipos de bacilos, diferentes tipos de hongos y protozoarios presentes en los desechos, son esenciales para el buen desarrollo de las lombrices, ya que las lombrices son capaces de alimentarse selectivamente de ellos. Las bacterias son las de menor importancia en la dieta, algas son de moderada importancia; protozoarios y hongos son las mayores fuentes de nutrientes (Edwards y Fletcher, 1988; Frederickson y Knight, 1988; Hand *et al.*, 1988 y Morgan, 1988).

Kaplan *et al.* (1980) y Edwards (1995) reportan que sustratos con contenidos de sales solubles mayores a 0,5% producen la muerte de las lombrices. Concentraciones de acetato de amonio al 0,1% y estiércoles que contienen orines resultaron letales para *Eisenia fetida* (Kaplan *et al.* 1980). Phillips (1988) recomienda para el buen desarrollo de *Eisenia fetida* contenidos de amonio : menores de 0,5 mg/g de desecho base húmeda y contenidos de sales menores de 0,5%.

4.3.3.3 El pH

El pH del suelo es otro factor importante en condicionar la abundancia de lombrices de tierra (Kaplan *et al.*, 1980; Lal, 1987). De acuerdo con su tolerancia a la acidez, las lombrices se han clasificado en acidófilas, pH de 4,0 a 6,0, neutrófilas, pH de 6,0 a 7,0 y basílicas que soportan pH mayores de 7,0 (Martínez, 1996).

La población de lombrices es muy escasa en suelos con pH inferior de 4,0 y generalmente se encuentran a pH de 6,8 a 7,0 (Lee, 1985). Kaplan *et al.* (1980) sugieren que el pH para el cultivo de la lombriz debe estar entre 6 y 7. Hernández (1994) expone que las lombrices se adaptan a pH entre 4,5 y 8, considerándose el neutro como el óptimo para obtener la mayor población. El género *Eisenia* tiene un rango de adaptación a sustratos con un pH de 6 a 8, temperaturas de 12 a 28 °C (Tineo, 1994).

Pre-ensayos realizados en Colombia (Aristizabal y Montoya, 1991) indican que la pulpa fresca de café y en algunos estados de descomposición no presentaron limitante, desde el punto de vista de supervivencia, para la lombriz. Se obtuvo material de pulpa totalmente descompuesto en un lapso menor de dos meses cuando se utilizó, tanto pulpa de café fresca como pulpa a medio fermentar y no se encontró ningún limitante en la reproducción de la lombriz al utilizar la pulpa de café como sustrato. Rodríguez *et al.* (1992) reportan que *Eisenia fetida* logró incrementos significativos de biomasa y mejores tasas de reproducción, medidos en número de capullos por libra de lombricompost, cuando se incorporó cereza de café a las dietas para alimentar a las lombrices.

4.3.4. EFECTO DE LAS LOMBRICES EN EL SUSTRATO

El efecto de las lombrices sobre el desecho orgánico del cual se alimentan consiste en aumentar su mineralización y la humificación de la materia orgánica (Lavelle, 1988). Generalmente el material fecal de las lombrices es mucho más fragmentado y microbiológicamente más activo que el sustrato consumido inicialmente. Las lombrices mantienen condiciones aeróbicas en los desechos, ingieren sólidos, convierten una parte en biomasa y productos de la respiración. Durante este proceso, el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio presentes en la materia orgánica son convertidos, por medio de la acción microbial, a formas más solubles y disponibles para las plantas que en el sustrato inicial (Edwards, 1995). El grado al cual la materia orgánica es degradada está en función de: (a) la

proporción del material biodegradable, (b) el mantenimiento de condiciones aeróbicas y (c) ausencia de condiciones tóxicas para las lombrices (Loehr *et al.* 1988). Huhta y Haimi (1988) reportan que la incorporación de lombrices a los lodos y estiércoles han incrementado la tasa de descomposición de estos, han reducido la proporción de descomposición anaeróbica a aeróbica, con la consecuente disminución en la producción de compuestos volátiles de metano y sulfuro. *Eisenia andrei* alimentada con desechos del jardín contribuyó a reducir más rápidamente la celulosa y hemicelulosa por medio de los microorganismos (Engelstad, 1991).

Aranda (1992) expone que el efecto de las lombrices en el sustrato es la de transformar la materia orgánica fresca hacia un estado de mineralización lo que a su vez puede ser medido por un incremento en la concentración de las cenizas. La relación C/N se incrementa en la presencia de lombrices, siendo un valor de 10 el que indica la relación óptima, con un grado adecuado de maduración del sustrato. *Eisenia fetida* causa un incremento en el pH del sustrato y la capacidad de intercambio catiónico.

Aranda (1988), reporta que dos especie de lombrices se desarrollaron y proliferaron en la pulpa de café en condiciones de laboratorio, procesando la totalidad de la pulpa, 40 cm de profundidad sin necesidad de movilizar el sustrato. En esta prueba, 1800 lombrices procesaron en dos meses, 20 litros de volumen aparente de pulpa. El compost resultante, aproximadamente el 55% del volumen inicial de la pulpa, parece superar ampliamente el abono obtenido por volteos, presentando una estructura granulada muy uniforme, ligera y porosa de color café oscuro casi negro, formado por pequeños agregados.

En cuanto a la movilización del sustrato, Aranda (1992) expresa que una población de lombrices en un depósito de pulpa de café sin manipulación, la ingestión del sustrato se da en una capa de 20 a 30 cm de profundidad y el depósito de las excretas se hace en las capas superficiales, dando como resultado la movilización y separación de materiales; en la parte superior, a

manera de sobrenadante, se encuentran cascarillas y algunos restos de granos rotos, la capa siguiente se forma por los turrículos excretados y hasta el fondo se forma una capa de fibras de la pulpa de café que no fueron ingeridas por las lombrices. La sola fragmentación de los sustratos por las lombrices y la formación de agregados en la formación de turrículos, tiene el efecto de incrementar la superficie de exposición y aireación del sustrato. En el caso de *Eisenia fetida* en pulpa de café, cada turrículo tiene un tamaño medio de 1,36 mm de longitud y un diámetro medio de 0,46 mm, lo que da lugar a una superficie de exposición de $2,47 \text{ mm}^2$, (partiendo de la forma del cilindro). Además, cada turrículo lo cubre una capa de muco digestivo con altas concentraciones de microorganismos en su interior, que permite y favorece una digestión extracorporal del sustrato, y que al deshidratarse, incrementa la estabilidad y cohesión de las partículas (Aranda, 1992).

Debido a la formación de agregados, la cantidad de poros y espacios se incrementa, aumenta también la tasa de deshidratación de los turrículos en relación con el sustrato sin lombrices, la tasa de descomposición se acelera; el flujo de CO_2 y de O_2 es, significativamente mayor, en las excretas que el sustrato sin tratar. *Eisenia fetida* ha mostrado que causa una disminución en la descomposición anaeróbica del sustrato y un incremento en el consumo de O_2 (Aranda, 1992).

Una característica del lombricompuesto y que hace que mejore la fertilidad de los suelos es su estabilidad estructural. El humus contenido en él, confiere a los suelos, una resistencia a la erosión, una adecuada porosidad y permeabilidad al agua, con lo que se evita una pérdida de nutrientes hacia los ríos o acuíferos. También, el contenido de nutrientes en el lombricompuesto oscila en promedios que van de 1,4 a 1,5% nitrógeno, de 1,4 a 8,8% de fósforo soluble y de 0,6 a 2,5% de potasio disponible (Aranda, 1992).

Estudios de Orozco *et al.* (1996) en pulpa de café, usando *Eisenia fetida* demostraron que después de la ingestión de la pulpa por las lombrices, se incrementó el P, Ca y Mg pero decreció el K en el lombricompuesto.

La biomasa microbiana se incrementa en el sustrato convertido por *Eisenia fetida*, se han reportado incrementos del 21% de DNA, 57% de incremento de RNA y 16% de incremento de ácidos nucleicos. Patógenos como la *Salmonella* se reducen por la actividad de *Eisenia fetida* de un 97,8% a 99,0% en 4 a 28 días, así como las poblaciones de nematodos (Aranda, 1992).

Se han reportado hormonas de plantas en las lombrices y su bioactividad ha sido demostrada en chícharo, pero no se tiene un conocimiento completo que indique que las cantidades de fitohormonas presentes en la compostas procesadas por lombrices, puedan tener efecto significativo en el incremento de las plantas. Sin embargo, Edwards y Burrows (1988) reportan que plantas de crisantemos, salvia y petunias que crecían en un medio con lombricompuesto, florecieron antes que otras en medios sin lombricompuesto; según los autores la floración temprana se pudo deber a un efecto hormonal del lombricompuesto.

En lo referente al contenido de compuestos como taninos, ácidos clorogénicos, flavonoides y cafeína, análisis efectuados por INMECAFE en 1990, mostraron la ausencia de estos componentes, con excepción de la cafeína que mostró trazas en la pulpa fermentada, antes de colocar las lombrices; al final del proceso, el abono orgánico de pulpa de café ya procesado no presentó dichos compuestos (Aranda, 1992).

Con referencia a los rendimientos, considerando una reducción del volumen inicial de pulpa del orden del 60% al convertirse en abono orgánico, se tiene calculado producir un aproximado de 126 litros de abono orgánico por cada quintal de café cereza (245 kg) procesado en el beneficiado húmedo (Aranda, 1992).

El programa de lombricultura de la zona cafetalera de Risaralda, Colombia, estima que con 12 toneladas de pulpa fresca al año, se puede alimentar

constantemente 30 kg de lombrices, obteniéndose seis toneladas de abono orgánico al año en una superficie de 10 a 20 m² (Galvis, 1991).

4.4. CRIANZA Y MANEJO DE LAS LOMBRICES

Cuando se establece un lombricultivo se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

4.4.1. INFRAESTRUCTURA

El primer aspecto de la infraestructura se refiere a la determinación del área necesaria para el establecimiento del lombricultivo. El área va a depender del tipo de explotación. Martínez (1996) define que para un tipo de explotación de pequeña escala se requiere de un área entre 10 y 100 m², dependiendo del volumen de desechos, una explotación a mediana escala requiere un área aproximado de 100 a 1000 m² y una escala comercial de lombricultivo requiere un área de más de 100 metros; para esto tipos de explotación las camas o lechos son el sistema empleado para manejar a las lombrices. Dávila y Ramírez (1996) reportan que 25 toneladas de pulpa fresca se pueden manejar en un área efectiva de 25 m² de lombricultivo, con una densidad de lombriz pura de 5 kg/m².

En cuanto a la pendiente del terreno se prefiere plana y si se van a emplear lechos que estén en contacto con el suelo, este debe tener una buena estructura y drenaje; la disponibilidad de agua es otro factor a tomar en cuenta cuando se va a seleccionar el área para el lombricultivo (Tineo, 1994 ; Escobar, 1992; Martínez, 1996).

El espacio donde se realiza el proceso de lombricultura puede ser lechos o camas, cajas o canastillas plásticas. Por lo general, las camas o lechos se construyen de 1 m de ancho y la longitud según la disponibilidad del terreno. Sin embargo, se acostumbra camas o lechos de 2 a 3 m de largo. La altura de la cama más usual es de 40 cm y el espacio entre camas puede ser de 50 cm (Edwards, 1995; Dávila y Ramírez, 1996). Martínez (1996) expresa que si la producción de

lombricompuesto es mecanizada no se deben utilizar camas o lechos con límites o protección alguna.

Escobar (1992) recomienda cajones con dimensiones mínimas de 1 x 0,5 x 0,3 m y tres cajones para empezar un lombricultivo a nivel familiar, un cajón para inocular las lombrices y dos para madurar el desecho orgánico que será el sustrato de alimento.

Dávila y Ramírez (1996) recomiendan el uso de pisos en el interior de las camas para aislar el cultivo del suelo y evitar el ataque de posibles plagas. Además, el piso debe construirse con una pendiente entre 2 y 5% para evitar la inundación de la cama cuando se riegan. Los mismos autores recomiendan techar a una altura entre 2,5 y 3 m para evitar la lluvia directa y cercar el área para evitar la entrada de aves u otros depredadores al área.

Edwards (1995) expresa que el uso de camas o lechos para la producción de lombricompuesto requiere grandes áreas para realizar la actividad a gran escala. Además que este sistema procesa el sustrato relativamente lento y por lo tanto, los nutrientes que son volátiles o solubles se pierden en el proceso.

4.4.2. PREPARACION DEL SUSTRATO

Es importante destinar un área para la preparación del sustrato. Los desechos son de descomposición variada, por lo que deben descomponerse en forma aeróbica controlándose su humedad, pH y temperatura. La mejor forma de saber si un alimento está apto para ser utilizado es tomar una muestra y colocar en ella 10 lombrices cliteladas. Si al cabo de 24 horas, las lombrices están distribuidas homogéneamente en la muestra y no falta una sola y/o no se encuentran algunas muertas el sustrato reúne las condiciones adecuadas. Se procede, por lo tanto, a colocar el sustrato en los lechos o cajones (Centro de investigación y desarrollo, 1996; Martínez, 1996).

4.4.3. INTRODUCCION O INOCULACION DE LAS LOMBRICES

La *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* son de las especies más utilizadas en el cultivo intensivo (Tineo, 1994). Una vez preparado el lecho se procede a la introducción de las lombrices, se recomienda iniciar con un mínimo de 2.500 lombrices por m² (Martínez, 1996). Dávila y Ramírez (1996), exponen que la velocidad de la descomposición de la pulpa del café depende de la densidad de lombrices. Cuando se desea un proceso rápido, la densidad de lombrices debe ser alta: alrededor de 5 kg de lombriz pura/m² que corresponde entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato.

4.4.4. MANEJO DEL LOMBRICULTIVO

El sustrato alimenticio puede ser cualquier desecho orgánico. En lombricultivos alimentados con pulpa de café, remojados con aguas de lavado de café, se han observado incrementos mayores de peso de lombrices, mayores tasas de consumo y mayores rendimientos en la conversión de pulpa en lombricompuesto, que aquellos alimentados con pulpa sola y remojados con agua limpia. El lombricultivo puede alimentarse con pulpa hasta de una semana, que no esté caliente, pero es más práctico utilizar la que tiene mayor tiempo de descomposición (Dávila y Ramírez, 1996).

Básicamente existen tres enfoques en cuanto al suministro y disposición del sustrato para la alimentación de las lombrices como se explican a continuación:

- **Alimentación gradual de la pulpa:** las lombrices se encuentran en una pequeña capa de sustrato ya transformada y se le van aplicando capas delgadas del nuevo sustrato hasta alcanzar una altura de 30 a 35 cm. Luego se suspende la alimentación y se colocan trampas durante varios días para atraer a las lombrices. Cuando se utiliza pulpa de café fresca las capas de alimento deben tener un máximo de 4 cm para evitar su calentamiento, facilitar la aireación del cultivo y mantener a las lombrices alimentándose en la parte superior (Dávila y Ramírez, 1996).

- **Retiro gradual de abono:** con este sistema la pulpa se encuentra desde el inicio en los lechos o depósitos y sobre estos se incorporan las lombrices. Se debe retirar la capa superficial de los lechos hasta reducir la altura del lecho y las lombrices se pasan de nuevo a otro lecho (Aranda, 1992).
- **Retiro total del abono:** Este sistema consiste en poner el sustrato y las lombrices de una vez en el lecho y cuando las lombrices han procesado todo el sustrato se retira todo. Posteriormente se limpia y desinfecta el lecho para ser nuevamente utilizado (Riddle, 1997).

En lo concerniente a la frecuencia de alimentación y cantidad, Dávila y Ramírez (1996) recomiendan alimentar una vez a la semana. La cantidad de alimento está relacionada con el consumo de la lombriz. Considerando que se han observado consumos equivalentes a la mitad del peso de lombrices por día, para camas con 5 kg de lombriz pura/m² se debe alimentar con una cantidad de 17 a 20 kg de pulpa aproximadamente.

El riego debe permitir una humedad del lecho entre 80 a 85%. Además de mantener una aireación y temperaturas adecuadas (Centro de investigación y desarrollo, 1996; Dávila y Ramírez, 1996).

Cada 90 días como máximo, la población de lombrices se duplica, si el criadero ha sido bien manejado. Para mantener la reproducción se deberá bajar la densidad. Cuando la densidad de los lechos aumenta a niveles altos (40.000 a 50.000 lombrices/m²), es necesario retirar lombrices para mejorar la producción. Esto se llama duplicación de lechos y consiste en reducir la humedad del lecho sobrepoblado, se aplica una capa de alimento fresco sobre este último y se pasan las lombrices a un nuevo lecho preparado con anterioridad (Centro de Investigación y Desarrollo, 1996)

4.4.5. RECOLECCION DE LOS PRODUCTOS

Según Martínez (1996), la primera cosecha está en función de la cantidad inicial de lombrices, el establecimiento y reproducción de las lombrices, el tipo de desecho

que se esté reciclando, las condiciones ambientales. Tomando en cuenta todo lo anterior la primera cosecha se puede realizar entre los cuatro y seis meses.

Dávila y Ramírez (1996) por su parte, exponen que la separación de la lombriz y la cosecha del lombricompuesto se hace dos o tres veces al año, dependiendo de la velocidad de descomposición de la pulpa. Cuando el sustrato llega a la altura máxima de la cama, se suspende la alimentación y el riego durante una semana, las lombrices consumen lo que queda de la pulpa durante este tiempo. A la semana siguiente, se extiende una malla sobre la cama y se le coloca alimento fresco. Dependiendo de la cantidad de lombrices, puede ser necesario repetir esta operación hasta tres veces.

Una vez realizada la cosecha del lombricompuesto se seca para disminuir la humedad hasta un máximo de 50%. Generalmente los rendimientos en pulpa de café se ubican en un rango de 35 a 40% en base húmeda. Con una producción de 25 toneladas de pulpa/año se puede tener una producción de 9 toneladas de lombricompuesto húmedo fresco al año.

4.5. EL LOMBRICOMPUESTO

El material excretado por la lombriz, considerado como humus, es una sustancia lignoproteica bastante estable a la descomposición, se presenta como tierra ligera, con excelente estructura, suelta, porosa y suave. Su calidad depende, además de la alimentación empleada, de su granulometría. El humus de lombriz es neutro, inodoro y aunque se aplique en exceso a la plantas jóvenes no las quema (Edwards y Burrows, 1988; Aristizabal y Montoya, 1991; Domínguez, 1992).

El humus producido por cualquier lombriz tendrá las mismas características físicas y químicas, con la condición de que todas las lombrices consideradas tengan asignado el mismo tipo de alimentación y sean el mismo tipo de lombriz (Ferruzzi, 1994). Un aspecto importante durante el procesamiento del material orgánico por las lombrices, es el hecho de que muchos de los nutrientes

contenidos en el material son cambiados a formas más asimilables por las plantas como nitratos, fósforo soluble y potasio, calcio y magnesio intercambiables (Edwards y Burrows, 1988; Scott, 1988).

Según el Centro de Investigación y Desarrollo (1996) las escretas de lombriz están constituidas por los siguientes compuestos:

- Ácidos húmicos: incluyen aquellas sustancias extraídas normalmente del humus con un agente alcalino o neutro y que forman un precipitado amorfo con los ácidos, tienen alrededor de 50 a 62% de carbono.
- Ácidos fúlvicos: existen en la fracción soluble que queda al tratar el extracto alcalino con ácido. Al tratar esta solución con acetato de cobre en condiciones ácidas, precipitan los ácidos aprocrémicos y en la neutralización del filtrado con carbonato amónico precipitan los ácidos crémicos, los ácidos apocrémicos son de color pardo y los ácidos crémicos son amarillos, tienen entre 43 y 52% de carbón.
- Las huminas y ulminas: ambas constituyen la parte no soluble de las sustancias húmicas. Son formas desnaturalizadas de los ácidos húmicos y úlmicos producidos por desecación o congelación que se han deshidratado, condensado, polimerizado o disminuido el número de sus grupos funcionales.

En el humus de lombriz existe una relación entre ácidos húmicos/ácidos fúlvicos cercana a 2:1. Entre los compuestos del humus los más determinantes en su acción de fertilización son la microflora, los ácidos húmicos y los fitoestimuladores; estos últimos, según Domínguez (1992) están presentes en el humus la giberlina, citoquinimas y auxinas. El Cuadro 3 presenta los resultados promedios del análisis del humus producido por lombrices en Cuba.

Cuadro 3. Características generales del lombricompostado producido en Cuba.

CARACTERÍSTICA	RANGO
N	1,5 - 2,2 %
P ₂ O ₅	1,8 - 2,2%
K ₂ O	1,0 - 1,5%
Ca	4,6 - 4,8%
Mg	0,3%
Cu	0,5 ppm
Zn	150 - 170 ppm
Mn	500 - 510 ppm
C	13,1 - 17,3%
Materia orgánica	65 - 70%
C/N	10 - 11
Contenido de humedad	65%
Hongos	31 x 10 ⁸ colonias/g
Actinomicetes	107 x 10 ⁸ colonias/g
Bacterias oxidantes de N	140 x 10 ⁴ colonias/g
Bacterias fijadoras de N	45 colonias/g
Bacterias solubilizadoras de P	135 x 10 ¹ colonias/g

Fuente: Werner y Cuevas, 1996.

4.6. LA PULPA DEL CAFÉ

La pulpa es el primer subproducto del beneficiado húmedo del café (Figura 5). Esta constituye cerca del 40% del peso del fruto fresco y aproximadamente el 29% de la materia seca del fruto (Zuluaga, 1989).

La pulpa fresca posee contenidos de humedad superiores al 85% lo que constituye la mayor desventaja en su utilización, desde el punto de vista de transporte, manejo y procesamiento (Montero, 1992). La pulpa es un material ácido con un pH de aproximadamente 4,5 (Wu, 1995).

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de los azúcares, por cromatografía gas-líquido, de la pulpa de café secada al sol y por liofilización.

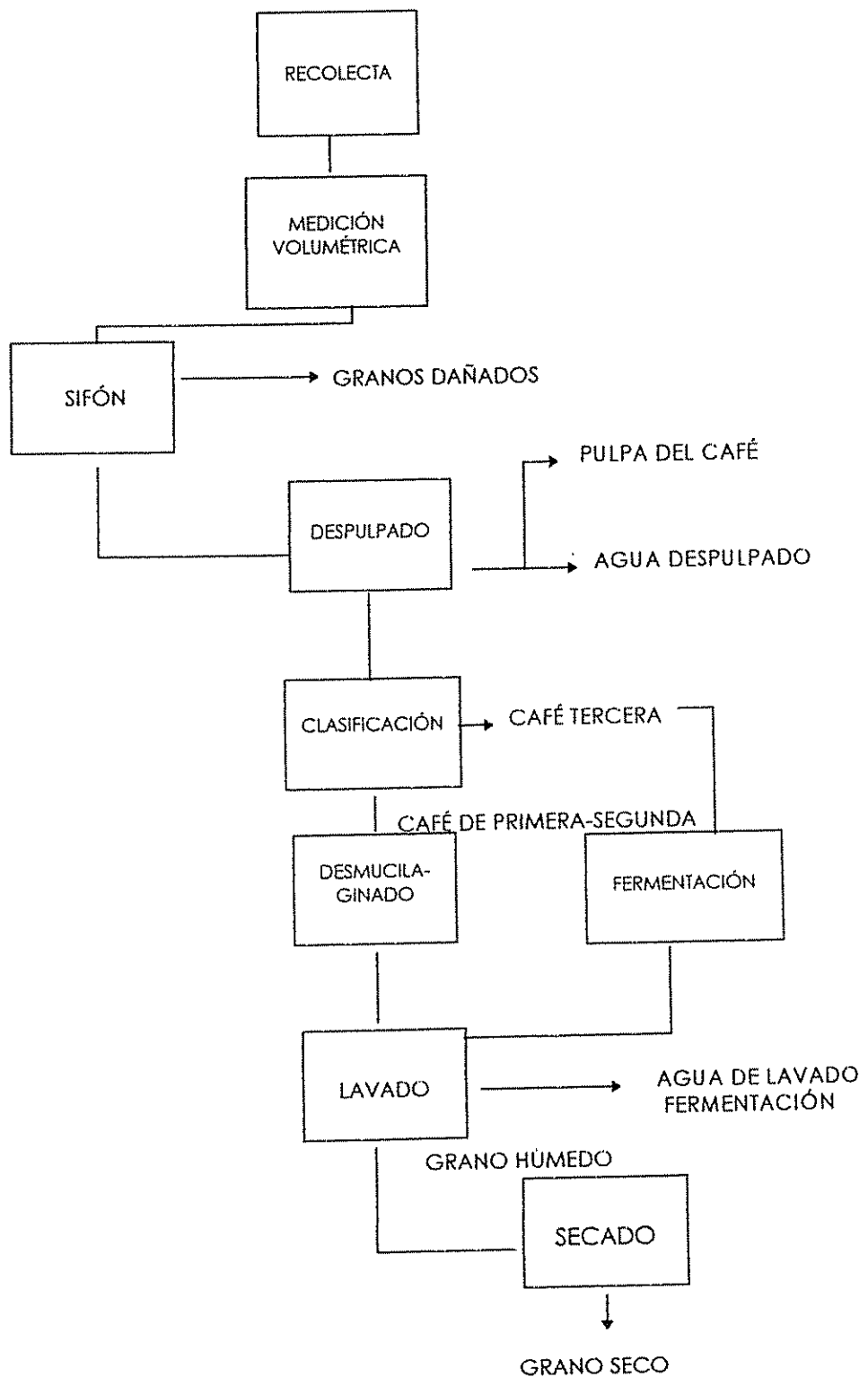


Figura 5. Procesamiento del café por vía húmeda (Fuente: Coto, 1992).

Cuadro 4. Contenido de azúcares libres de la pulpa de café.

Azúcares	Liofilizada		Secada al sol	
	mg/100 mg	% total	mg/100mg	% total
$\alpha + \beta$ D-fructuosa	9,92	43,8	15,20	57,1
D-galactosa	2,40	10,6	1,88	7,0
α - D-glucosa	3,42	15,1	4,52	17,0

Fuente: Zuluaga, 1989.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de un análisis químico aproximado de la pulpa de café. La evaluación "in vitro" de la calidad de las proteínas muestra que los aminoácidos esenciales más abundantes son: triptófano, treonina, tirosina, valina y fenil-alanina y las menos abundantes: metionina e isoleucina. Además, forman parte de la pulpa compuestos orgánicos como la cafeína y los polifenoles (Zuluaga, 1989). La característica más importante de los polifenoles es su capacidad para ligar proteínas, haciéndolas poco accesibles para el organismo, así mismo, pueden actuar como inhibidores enzimáticos (Trujillo y Vargas, 1991).

Cuadro 5. Composición química aproximada de la pulpa de café.

NUTRIMENTO	PULPA DESHIDRATADA
Humedad	6,93%
Materia seca	93,07%
Extracto etéreo	2,50%
Fibra cruda	15,10%
Nitrógeno	1,32%
Proteína(N x 6,25)	8,25%
Cenizas	8,12%
Extracto libre de nitrógeno	59,10%
Carbohidratos *	74,10%
Cafeína	0,75%
Taninos	3,70%
Ca	0,32%
P	0,05%
Na (p.p.m.)	160,0
Fe (p.p.m.)	250,0

*Carbohidratos = extracto libre de nitrógeno + fibra cruda. Fuente: Zuluaga, 1989.

La pulpa de café se ha utilizado como fertilizante orgánico aplicado directamente sobre los cultivos. En los beneficios generalmente la pulpa se acumula en las áreas destinadas para su descomposición, donde los nutrientes son disueltos y se pierden. De la misma manera en la descomposición anaeróbica lo ácido del material crea malos olores y moscas (Wu, 1995). Aranda (1988) afirma que en las grandes acumulaciones de pulpa la descomposición se lleva acabo solo en los estratos superficiales, mientras que en las capas más profundas sin oxígeno, la pulpa cambia a un color amarillo mostaza y la transformación se suspende después de pasar por las fases iniciales de fermentación alcohólica y acética, por eso se ha llegado a considerar como necesario la realización de volteos repetidos o extender la pulpa en capas de poca profundidad.

V. MATERIALES Y METODOS

El experimento consistió de dos fases; en la primera fase se evaluó el efecto de cinco períodos de descomposición de la pulpa de café y tres diferentes densidades de lombrices sobre la producción del lombricompuesto, el tiempo requerido para procesar la pulpa y el desarrollo biológico de las lombrices. En la segunda fase, se utilizó el mejor tratamiento de la primera fase para evaluar los métodos de alimentar lombrices utilizando canastas plásticas como recipientes.

5.1 FASE I

5.1.1 LOCALIZACION

La primera fase del experimento se realizó en el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE, ubicado en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica, a partir de diciembre 1996. El sitio se encuentra a una altitud de 602 msnm y a 9°53' de Latitud Norte y a 83°37' de Longitud Oeste. La precipitación promedio anual es de 2607 mm, distribuidos a lo largo de todo el año. La temperatura máxima es de 27,1° C, la media es de 21,7° C y la mínima

de 17,9° C. La humedad relativa promedio es de 88%, la radiación solar global es de 17 MJ/m² día y la velocidad del viento menor a 1 m/s. El sitio pertenece a la formación ecológica Bosque Muy Húmedo Premontano según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978).

El sitio designado en el CATIE para el ensayo mide 24 m² y está cubierto con techo que deja penetrar el 25% de radiación solar. En el lugar se ubicaron dos mesas de 60 cm alto por 4 m de largo y 1 m de ancho, las cuales tienen una base de reglas separadas a 5 cm, para que el agua de los recipientes drenen. En cada pata de la mesa se colocó un recipiente con agua para evitar que las hormigas invadieran los recipientes con la pulpa y las lombrices. Cada mesa se dividió en dos secciones que representaba un bloque cada una y se distribuyeron al azar los recipientes de cada tratamiento en cada sección.

5.1.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

LA PULPA DE CAFE

La pulpa de café para la primera fase provino del beneficio Santa Rosa, localizado en Turrialba, y la pulpa para la segunda fase se tomó del beneficio La Meseta, ubicado en San Isidro de El General. En ambos beneficios se procesa el café por vía húmeda. La pulpa se recolectó en el mismo momento que empezó el proceso de despulpado para asegurar los posteriores períodos de descomposición. De esta forma, se recolectó la pulpa una vez por semana, hasta llegar al tratamiento de pulpa fresca. La pulpa de la primera fase se transportó en sacos del beneficio hacia el CATIE, donde se extendió a la interperie sobre un cuadro de polietileno negro, el cual se perforó para asegurar el drenaje. El polietileno se colocó sobre una capa de mulch de 20 cm de espesor, compuesta por acículas de pino, cuya función fue favorecer el drenaje evitando que la pulpa se pudra por exceso de agua. Durante el tiempo requerido por la pulpa para llegar a los períodos de descomposición necesarios, se volteó cada cinco días

con un rastrillo. No fue necesario agregar agua a la pulpa, ya que fue la época lluviosa y la pulpa en descomposición siempre se mantuvo húmeda.

LAS LOMBRICES

Las lombrices utilizadas en la primera fase del ensayo son de la especie *Eisenia fetida*; se recolectaron de tres fincas ubicadas en Santa Cruz de Turrialba, San Isidro de Coronado y Tilarán. Las lombrices de estas fincas se utilizaron para iniciar el pie de cría. Se mantuvieron en cajones, alimentadas primeramente con estiércol de cabra, y un mes antes de iniciar el experimento se alimentaron con pulpa de café en estado avanzado de descomposición.

5.1.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos de esta primera fase del estudio resultaron de la combinación de tres densidades de lombrices en un volumen de 4200 ml y cinco periodos de descomposición de la pulpa:

1. $D_1 PD_1$: Densidad 100 lombrices y pulpa fresca (0 días de descomposición).
2. $D_1 PD_2$: Densidad 100 lombrices y pulpa con 7 días de descomposición.
3. $D_1 PD_3$: Densidad 100 lombrices y pulpa con 14 días de descomposición.
4. $D_1 PD_4$: Densidad 100 lombrices y pulpa con 21 días de descomposición.
5. $D_1 PD_5$: Densidad 100 lombrices y pulpa con 28 días de descomposición.
6. $D_2 PD_1$: Densidad 200 lombrices y pulpa fresca (0 días de descomposición).
7. $D_2 PD_2$: Densidad 200 lombrices y pulpa con 7 días de descomposición.
8. $D_2 PD_3$: Densidad 200 lombrices y pulpa con 14 días de descomposición.
9. $D_2 PD_4$: Densidad 200 lombrices y pulpa con 21 días de descomposición.
10. $D_2 PD_5$: Densidad 200 lombrices y pulpa con 28 días de descomposición.
11. $D_3 PD_1$: Densidad 300 lombrices y pulpa fresca (0 días de descomposición).
12. $D_3 PD_2$: Densidad 300 lombrices y pulpa con 7 días de descomposición.
13. $D_3 PD_3$: Densidad 300 lombrices y pulpa con 14 días de descomposición.
14. $D_3 PD_4$: Densidad 300 lombrices y pulpa con 21 días de descomposición.
15. $D_3 PD_5$: Densidad 300 lombrices y pulpa con 28 días de descomposición.

Las densidades de lombrices utilizadas (100, 200 y 300 individuos clitelados por 0,0042 m³) corresponden a 23810, 47620 y 71430 individuos por metro cúbico de pulpa, respectivamente.

El diseño experimental de la primera fase fue bloques al azar con arreglo factorial de los tratamientos y con subparcelas divididas en el tiempo.

El factorial fue de 3x5 con cuatro repeticiones, cada repetición correspondió a un recipiente con pulpa y los factores fueron:

1. Tres densidades de lombrices (100, 200 y 300 lombrices adultas en 4200 ml de pulpa).
2. Cinco tiempos de descomposición de la pulpa (0,7, 14, 21, 28 días).

El modelo estadístico para este ensayo fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + D_j + P_k + (DP)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + F_l + (DF)_{jl} + (PF)_{kl} + (DPF)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = Volumen de lombricompuesto

β_i = Efecto de los bloques

D_j = Efecto de la densidad de lombrices

P_k = Efecto de los tiempos de descomposición

$(DP)_{jk}$ = Efecto de la intersección densidad y tiempos de descomposición

ε_{ijk} = Error

F_l = Efecto del tiempo

$(DF)_{jl}$ = Efecto de la interacción densidad y tiempo

$(PF)_{kl}$ = Efecto de la interacción tiempo de descomposición y tiempo

$(DPF)_{jkl}$ = Efecto de la interacción tiempo, densidad y periodo de descomposición

ε_{ijkl} = Error

5.1.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Luego de aleatorizar los bloques y tratamientos, la pulpa de café se colocó en recipientes cilíndricos de plástico, perforados en el fondo y de color negro, los

cuales se distribuyeron al azar y en cuatro bloques sobre las mesas. Cada recipiente se pesó y se colocaron en ellos, las diferentes densidades de lombrices, previamente pesadas, que les correspondían. Los recipientes utilizados para el ensayo tienen una capacidad para 5320 ml, pero se llenaron con pulpa hasta 4200 ml, lo cual representó el volumen de una capa de pulpa de 20 cm de altura.

Debido a los cambios en peso y volumen de la pulpa durante la descomposición, se decidió usar el mismo volumen y determinar el peso seco para hacer las comparaciones entre los tratamientos.

Dos veces a la semana se observaron los potes con las lombrices para determinar si era necesario humedecer la pulpa.

Para el muestreo de la lombrices se revisó todo el contenido de los potes y se devolvieron la lombrices y huevos a los potes después del conteo.

5.1.5 VARIABLES EVALUADAS

5.1.5.1 Comportamiento biológico de la lombrices

- **Número de cápsulas, lombrices juveniles, adultas y porcentaje de mortalidad**

Durante el experimento se realizaron tres conteos de cápsulas, lombrices en estado juvenil y lombrices adultas o cliteladas presentes en los tratamientos. El primer conteo se realizó a los 15 días de inoculadas las lombrices en cada recipiente; el segundo a los 25 días y el tercero a los 46 días.

Para el conteo de las cápsulas y lombrices, el contenido de cada recipiente se vació sobre una mesa y se procedió a contar manualmente las lombrices y cápsulas que aparecieron, las cuales se depositaban en recipientes separados para luego incorporarlas de nuevo a los recipientes correspondientes según el tratamiento. El porcentaje de mortalidad fue evaluado como: $[(\text{número de lombrices iniciales} - \text{número de lombrices finales}) / \text{número de lombrices iniciales}] \times 100$.

- **Biomasa (peso fresco) de las lombrices**

Antes de introducir las diferentes densidades de lombrices en cada recipiente de acuerdo al tratamiento correspondiente, se determinó su peso fresco mediante una balanza analítica con un grado de error de $\pm 0,001$. Al final del experimento, se pesó en conjunto, el total de lombrices (adultas y juveniles) de cada recipiente en la misma balanza. A partir de la fórmula $[(\text{peso final de lombrices} - \text{peso inicial de lombrices})/\text{peso inicial}] \times 100$, se obtuvo el incremento de biomasa fresca de las lombrices para los diferentes tratamientos.

5.1.5.2 Producción de lombricompuesto

Se obtuvo el peso seco y se midió el volumen de cada uno de los potes con pulpa en los diferentes estados de descomposición antes de introducir las lombrices. De igual manera, se midió el peso seco y volumen final de lombricompuesto generado en cada pote. Luego se calculó el porcentaje del peso seco y volumen de pulpa que se convirtió en lombricompuesto por repetición y tratamiento.

5.1.5.3 Tiempo requerido para procesar la pulpa

Se anotó el número de días necesarios para que las lombrices procesaran la pulpa de café en un 95%, en cada uno de los tratamientos y repeticiones.

5.1.5.4 Características químicas y físicas de la pulpa de café en los diferentes períodos de descomposición y del lombricompuesto

Al inicio del experimento se realizó un análisis químico a cada una de las cinco pulpas con diferentes estados de descomposición. Las muestras fueron sometidas a digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórico. Se obtuvo un extracto y luego, por medio de la determinación por absorción atómica, se determinaron los contenidos de los elementos: Ca, Mg, K, Cu, Mn y Zn. Los contenidos de fósforo de la muestra sometida a la digestión húmeda se determinó

por el método de colorimetría. El nitrógeno fue determinado por el método de Kjeldahl (AOAC, 1970; Bermejo, 1963) y los contenidos de materia orgánica por el método de pérdidas por calcinación. Para el pH se tomaron cinco muestras por pulpa descompuesta y se determinó su valor por el método del potenciómetro en agua 1:2.5.

Al finalizar el ensayo se tomó una muestra por tratamiento, 15 en total, del lombricompuesto producido para realizarle los mismos análisis químicos que se le aplicaron a las muestras de la pulpa con diferentes estados de descomposición.

El análisis físico de las muestras tomadas de la pulpa, con diferentes períodos de descomposición y del lombricompuesto, incluyeron la determinación de la humedad, la densidad aparente y la temperatura. La humedad se determinó por el método gravimétrico; la densidad aparente por el método peso/volumen y la temperatura mediante termómetros de mercurio. Esta última variable se evaluó semanalmente tanto durante el período inicial de descomposición de la pulpa como luego de establecer los tratamientos.

5.1.5.5 Presencia de plagas visibles

Continuamente, durante el ensayo, se observaron los recipientes con el sustrato y las lombrices a fin de determinar si había presencia de plagas visibles que estuviesen afectando a las lombrices.

5.1.6 ANALISIS DE LOS DATOS

Todos los datos generados se analizaron mediante el programa estadístico SAS. A los datos obtenidos de los análisis químicos y físicos de las muestras, el peso de las lombrices y el tiempo requerido para procesar la pulpa se les realizó análisis de varianza. Cuando existieron diferencias significativas entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba Tukey para determinar diferencias entre las medias de los tratamientos. Los análisis anteriores se realizaron mediante el Proc GLM del programa SAS.

Los datos obtenidos de las variables número de adultos, juveniles, cápsulas, porcentaje de mortalidad, temperatura, peso y volumen de pulpa y lombricompuesto así como los porcentajes de transformación de pulpa a lombricompuesto se les realizó análisis de varianza. Luego se evaluó la posibilidad de que la variable días y peso inicial de la pulpa actuaran como covariables en las variables biomasa y porcentaje de conversión de peso y volumen respectivamente. Los análisis anteriores se realizaron mediante el Proc GLM del programa SAS.

Donde la prueba de varianza mostró que existían diferencias significativas se procedió, por variable, a realizar un análisis de residuos del modelo para comprobar que se cumplían los supuestos del análisis de varianza; esto se hizo aplicando el procedimiento Proc GLM y Proc Univariate plot normal a los residuos. Las variables que no tenían distribuciones normales se transformaron a raíz cuadrada o logaritmos naturales, con el fin de utilizar estas transformaciones en los análisis. Las variables transformadas fueron número de cápsulas y adultos a raíz cuadrada y número de juveniles y mortalidad a logaritmos. Se hicieron transformaciones en rangos para comparar cómo se comportaban las variables por medio del procedimiento de SAS Proc Rank. Los supuestos no se cumplieron para las variables huevos y adultos, pero estas variables no presentaron desviaciones fuertes de la normalidad. Se procedió a realizar el análisis de polinomios ortogonales por medio del procedimiento Proc GLM contrast de SAS y se ajustaron los modelos con regresiones utilizando los procedimientos Proc Sort, Proc Means y Proc Reg, esto debido a que los tratamientos eran cuantitativos y equidistantes.

5.2 FASE II

Una vez determinada en la Fase 1, que con la pulpa de 28 días de descomposición antes de introducir las lombrices y la densidad de 200 lombrices obtuvo la mayor producción de lombricompuesto, se procedió a realizar el estudio

sobre el efecto de la forma de alimentación sobre la producción del lombricompuesto, utilizando esta densidad y tiempo de descomposición de la pulpa.

Debido a que en la zona de Turrialba ya había pasado la época de cosecha y beneficiado de café, fue necesario realizar esta segunda parte del estudio en la zona de San Isidro del General, donde todavía se estaba en proceso de beneficiado, y por lo tanto, había disponibilidad de pulpa. El experimento se realizó en el Beneficio Corporación La Meseta ubicado en la ciudad de San Isidro de El General, Pérez Zeledón, en la zona del Pacífico Sur de Costa Rica. El lugar se encuentra en las coordenadas 9° 22' Latitud Norte y 83°42' Longitud Oeste. La altitud de San Isidro es de 703 msnm, con una precipitación anual media de 2934 mm y una temperatura promedio de 23° C. De acuerdo con las zonas de vida de Holdrige, el sitio se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Premontano.

5.2.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

La pulpa se obtuvo del beneficio Corporación La Meseta. La pulpa para la segunda fase se ubicó en el patio de concreto del beneficio la Meseta. El patio tiene una pendiente que favorece el drenaje de la pulpa, la cual se volteó cada cinco días hasta llegar al período de descomposición de 28 días. Se utilizaron canastas plásticas de 48 cm largo x 30,5 cm ancho x 28,5 cm alto (0,042 m³) como recipientes para la producción de lombricompuesto. Las canasta estaban perforadas en el fondo para facilitar el drenaje del agua. De igual manera, los cuatro lados de la canasta tenían perforaciones que ayudaban a la aireación de la pulpa. En los lados más cortos de la canasta tiene agarraderas para su manejo y cuando se coloca una canasta sobre la otra estas encajan perfectamente permitiendo el paso de las lombrices de una canasta a otra cuando se coloca alimento fresco sobre la canasta superior.

5.2.2 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos de la segunda parte del experimento fueron los siguientes:

1. Suministro gradual del sustrato: se agregaron capas de 20 cm de pulpa y el lombricompuesto se recogió al final.
2. Retiro gradual del lombricompuesto producido: se llenó toda la canasta con pulpa de café y se retiró el lombricompuesto cada 15 días.
3. Suministro total de sustrato y retiro total del lombricompuesto producido: se llenó toda la canasta con pulpa de café y se retiró el lombricompuesto una vez que se hubo procesado toda la pulpa.

La densidad de lombrices utilizadas fue la misma en todos los tratamientos: 31157 individuos por metro cúbico.

El diseño experimental para la fase dos es de bloques al azar con cuatro repeticiones.

El modelo estadístico de este ensayo fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ijk} = Volumen de lombricompuesto

β_i = Efecto de los bloques

τ_j = Efecto de los tratamientos

ε_{ij} = Error

5.2.3 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Las canastas con la pulpa descompuesta y con una densidad de 1300 lombrices, se colocaron al azar en el área asignada para el experimento, dejando 1 m entre cada canasta. Una vez descompuesta la pulpa, se procedió a llenar las canastas de acuerdo con el método de alimentación. Para el tratamiento

suministro gradual del sustrato, se les colocó una capa nueva de alimento cada vez que el 95% de la pulpa había sido procesada, hasta llegar a la altura máxima de la canasta. El lombricompuesto producido en todas las repeticiones se secó al sol y luego se pesó y midió su volumen. Con relación al último tratamiento, suministro total de sustrato y retiro total del lombricompuesto, se colocó todo el sustrato en las canastas hasta la altura máxima y luego las lombrices. En este caso se esperó a que las lombrices procesaran el 95% de la pulpa para retirar el lombricompuesto producido. Durante el experimento cuando la pulpa se secó se humedeció mediante riego dirigido.

Se llevó control del número de horas y gastos adicionales de materiales por tratamiento, con la finalidad de obtener los costos experimentales de producción de cada método.

5.2.4 VARIABLES EVALUADAS

5.2.4.1 Producción de lombricompuesto

De cada canasta se tomaron muestras a las cuales se les determinó en el laboratorio el porcentaje de humedad para obtener el peso seco de la pulpa inicial. Se midió además el volumen de pulpa en cada una de las canastas antes de introducir las lombrices. De igual manera, se obtuvo el peso seco y volumen final de lombricompuesto generado en cada canasta. Luego se calculó el porcentaje de peso seco y volumen de lombricompuesto producido por el peso seco y volumen inicial de pulpa para cada repetición y tratamiento.

Para el tratamiento suministro gradual del sustrato se determinó el peso seco y volumen de cada capa, hasta que se tuvo la misma altura en la canasta que los otros dos tratamientos al inicio del experimento.

5.2.4.2 Número de lombrices por tratamiento

Se emplearon 1300 lombrices en todos los tratamientos, y al final cuando se cosechó el lombricompuesto, se contaron manualmente todas las lombrices en

cada una de las cajas. En el caso del tratamiento recolección gradual, las lombrices se encontraron en la última capa, la cual se tuvo que revisar minuciosamente para ubicar la lombrices. En los otros dos tratamientos, se utilizaron trampas de alimento y luego se extrajo el lombricompuesto en capas para hacer que las lombrices se quedaran en la capa final, la cual se revisó para contar todas las lombrices.

5.2.4.3 Tiempo requerido para el procesamiento de la pulpa

Se determinó el número de días necesarios por las lombrices para procesar la pulpa de café en un 95% en cada tratamiento.

5.2.4.4 Presencia de plagas visibles

Una vez a la semana se procedió a revisar el contenido de las canastas y se observó si existió alguna plaga que atacara las lombrices durante su alimentación con pulpa de café, para discutir su efecto en el rendimiento de la producción de lombricompuesto.

5.2.5 ANALISIS DE LOS DATOS

De igual manera que en la Fase I los datos se analizaron por medio del programa estadístico SAS. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza. Luego se evaluó la posibilidad de que la variable peso inicial de la pulpa actuara como covariable para las variables: volumen final, peso final del lombricompuesto y porcentaje de peso y volumen de pulpa convertida a lombricompuesto. El análisis de la covariable mostró no tener significancia. Luego, cuando hubo diferencias significativas entre los tratamientos se analizaron por medio de la prueba Tukey por ser tratamientos cualitativos. Este análisis se realizó por medio del procedimiento Proc GLM.

Para cada variable se realizó un análisis a los residuos del modelo por medio del procedimiento Proc GLM de SAS, para comprobar si se cumplían los supuestos del análisis de varianza.

VI RESULTADOS Y DISCUSION

El orden seguido para la presentación de los resultados estuvo de acuerdo con los objetivos planteados y las fases del experimento. La estructura establecida para la presentación de los resultados consistió en la presentación de cuadros con los resultados por tratamiento, seguido de la discusión de los resultados que fueron respaldados por figuras, anexos o cuadros con resultados estadísticos.

6.1 FASE I

6.1.1 Análisis del comportamiento biológico de las lombrices

6.1.1.1 Mortalidad de lombrices inoculadas

En el Cuadro 6 se presenta el porcentaje promedio de mortalidad de las lombrices inoculadas inicialmente para los diferentes conteos, períodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices, así como el porcentaje acumulado de mortalidad por tratamiento. El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas para densidad, PDP¹, número de conteo, y la interacción pulpa por número de conteo (Cuadro A. 1).

Cuadro 6. Porcentajes de mortalidad de lombrices inoculadas promedios y acumulado para los diferentes tratamientos y número de conteo.

PDP	1 ^{ER} CONTEO			2 ^{DO} CONTEO			3 ^{ER} CONTEO			% ACUMULADO			% PROMEDIO
	DENSIDAD			DENSIDAD			DENSIDAD			DENSIDAD			
	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
0 Días	52,8	67,8	66,0	42,0	12,3	4,3	1,5	0,0	6,3	96,3	80,1	86,6	87,7
7 Días	7,8	14,3	3,3	4,0	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0	12,3	14,3	4,5	10,4
14 Días	8,5	6,3	3,2	0,8	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	10,4	6,3	4,5	7,1
21 Días	2,0	1,8	1,5	1,0	0,8	0,0	0,0	0,5	0,0	3,0	2,1	1,5	2,2
28 Días	1,0	0,8	1,0	0,0	0,8	0,0	0,3	0,3	0,0	1,3	1,9	1,0	1,4
PROMEDIO	14,4	18,2	15,0	9,7	2,8	3,4	0,5	0,2	1,3	24,7	20,5	19,6	

¹ Se utilizó la sigla PDP para referirse a los períodos de descomposición de la pulpa.

En los tres conteos, la pulpa con mayor porcentaje de lombrices muertas fue la de 0 días de descompuesta y la pulpa con menor número de muertes fue la pulpa de 28 días de descomposición (Figura 6). No hubo diferencias estadísticas significativas entre el porcentaje de mortalidad en las pulpa 7, 14, 21 y 28 días de descompuesta (Cuadro A. 2).

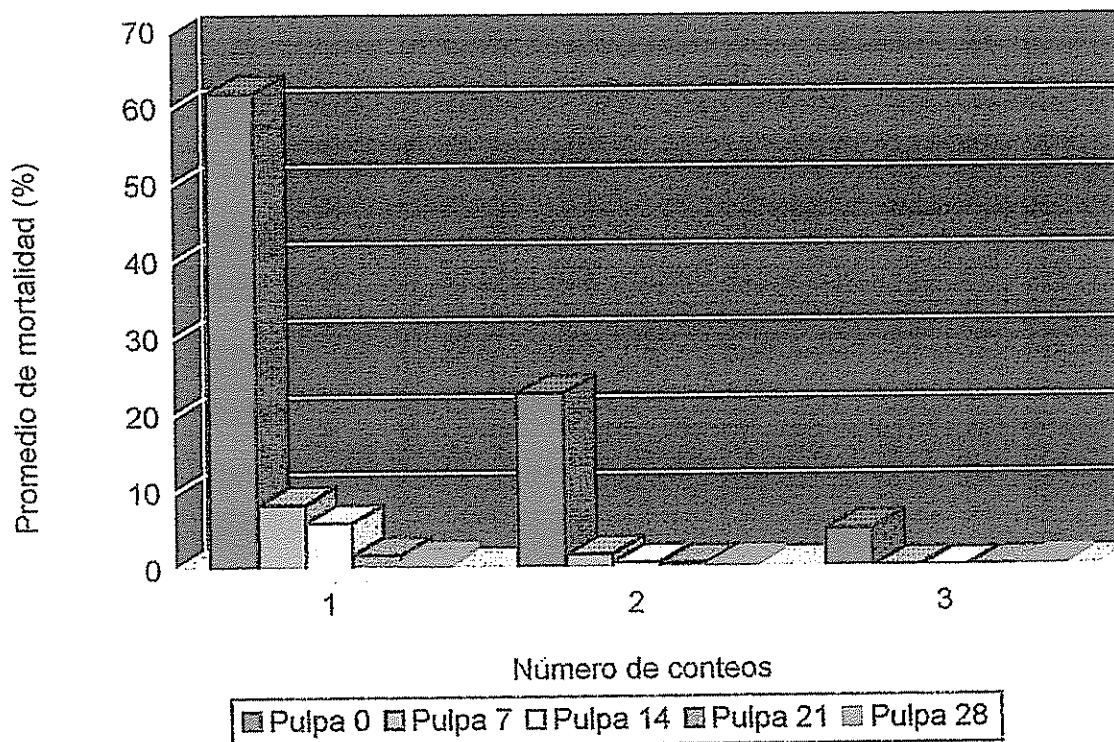


Figura 6. Variación del porcentaje promedio de mortalidad en los diferentes PDP por número de conteo.

La mayoría de las muertes se presentaron, para todos los períodos de descomposición de la pulpa, en el primer conteo, el cual se realizó a los 15 días de inoculadas las lombrices. La mortalidad para el segundo conteo tiende a ser menor que para el primero. En el tercer conteo todos los períodos de descomposición de las pulpas mostraron un comportamiento muy semejante, con una mortalidad muy baja, aunque el período de descomposición 0 días siempre se mantiene con el porcentaje de mortalidad mayor que el resto.

El porcentaje de mortalidad mayor en la pulpa, con 0 días de descompuesta, se podría explicar por el proceso de descomposición que se da en la pulpa. Durante el proceso de descomposición, por la falta de aireación, se presentan cambios químicos (fermentación), valores bajos de pH, factores que en conjunto crean un ambiente no propicio para la sobrevivencia de las lombrices (Kaplan *et al.*, 1980; Martínez, 1996; Paul y Clark, 1996). El porcentaje de mortalidad en los períodos de descomposición de 7, 14, 21 y 28 días fue estadísticamente semejante y estos porcentajes de mortalidad bajos podrían corresponder al porcentaje normal por adaptación al nuevo ambiente (Cuadro A.2).

El porcentaje de mortalidad para las densidades fue estadísticamente diferente (Cuadro A. 2). El porcentaje mayor de mortalidad lo tuvo la densidad de 100 lombrices, la densidad de 200 lombrices tuvo la segunda media de mortalidad y la media menor se dio en la densidad de 300 lombrices. Este comportamiento de la densidad podría responder a que, entre mayor es la densidad, existe más probabilidad de encontrar lombrices genéticamente con mayor capacidad para adaptarse a condiciones adversas o tóxicas. Otro factor que pudo afectar este resultado es el hecho de que la lombriz se agrega y la densidad de 300 lombrices presentó mejor condición que la de 100 lombrices en el espacio de 4200 ml. Finalmente, cuando se tiene una densidad de organismos mayor, la exposición a condiciones tóxicas de cada individuo es menor que cuando se tienen densidades menores, lo que pudo favorecer a que el porcentaje de mortalidad fuese menor en la densidad de 300 lombrices.

6.1.1.2 Número de cápsulas

En el Cuadro 7 se presenta la producción de cápsulas para los diferentes conteos, los períodos de descomposición de la pulpa y las densidades de lombrices.

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias para todos los

factores y sus interacciones (Cuadro A.1). En el primer conteo todos los tratamientos tuvieron cero producción de cápsulas (cuadro 7).

Cuadro 7. Número promedio de cápsulas producidas en los diferentes tratamientos y número de conteos.

PDP	1 ^{ER} CONTEO			2 ^{DO} CONTEO			3 ^{ER} CONTEO			SUMA
	DENSIDAD			DENSIDAD			DENSIDAD			
	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
0 Días	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	0,8
7 Días	0,0	0,0	0,0	28,3	0,0	5,5	166,0	26,8	10,8	237,4
14 Días	0,0	0,0	0,0	156,0	55,5	61,8	234,8	232,3	173,5	913,9
21 Días	0,0	0,0	0,0	95,5	15,3	14,8	511,0	70,8	53,8	761,2
28 Días	0,0	0,0	0,0	394,3	321,0	220,8	696,5	416,5	513,0	256,2
SUMA	0,0	0,0	0,0	674,1	391,8	302,9	1608,3	746,9	751,4	256,2

En el segundo conteo la densidad 100 lombrices en las pulpas de 7 a 28 días de descomposición obtuvo la mayor producción de cápsulas, en comparación con la densidad 200 y 300 lombrices (Figura 7). Las densidades 200 y 300 lombrices

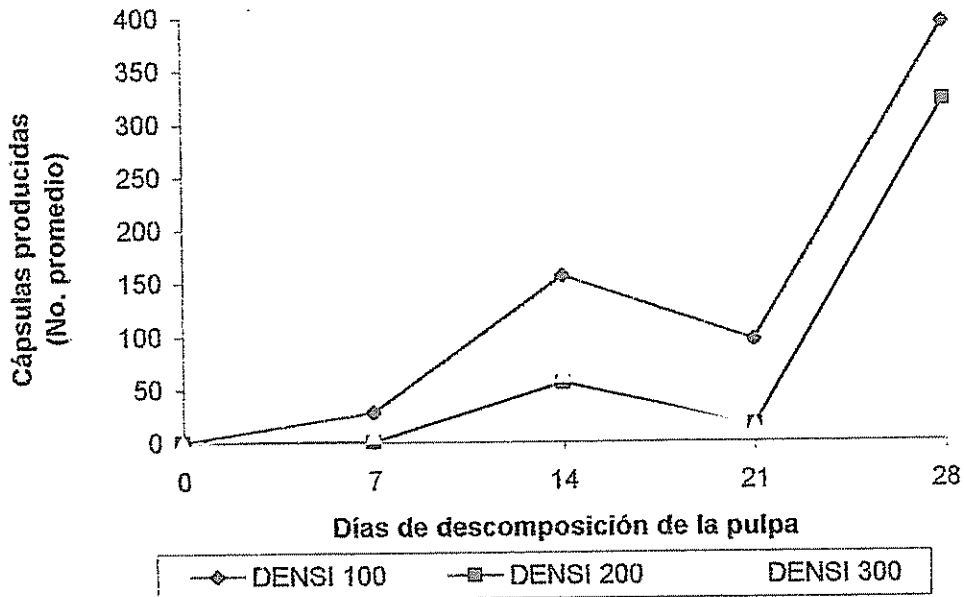


Figura 7. Variación del número promedio de cápsulas producidas en las densidades por pulpas para el segundo conteo.

para este segundo conteo tienen valores muy semejantes de producción. Sin embargo, es la pulpa con 28 días de descompuesta donde todas las densidades producen la mayor cantidad de cápsulas, y la cantidad de cápsulas producidas por la densidad de 200 lombrices supera a la densidad de 300 lombrices. El análisis de regresión mostró un comportamiento lineal de la producción de cápsulas para la densidad de 100 lombrices, pero el comportamiento de las densidades 200 y 300 lombrices fue muy homogéneo en las pulpas, por lo que las regresiones no ajustaron (Cuadro 8).

Cuadro 8. Modelo de regresiones para el número de cápsulas de acuerdo al PDP por la densidad y fecha de conteo.

Densidad	Número de conteo	Modelo	R ²
Densidad 100 lombrices	2	$Y = 3,5 + 0,9 X$	0,94
Densidad 200 lombrices	2	$Y = -0,9 + 1,0 X$	0,67 ^{NS}
Densidad 300 lombrices	2	$Y = 0,01 + 0,4 X$	0,65 ^{NS}
Densidad 100 lombrices	3	$Y = 3,5 + 0,9 X$	0,95
Densidad 200 lombrices	3	$Y = 1,6 + 0,6 X$	0,74 ^{NS}
Densidad 300 lombrices	3	$Y = -0,01 + 0,7 X$	0,74 ^{NS}

Y= Número de cápsulas
 X= Período de descomposición de la pulpa
 NS = No significativo

La variación del porcentaje promedio de cápsulas producidas en los diferentes períodos de descomposición de la pulpa, por densidad para el segundo conteo, muestra a la pulpa con 28 días de descompuesta con la mayor producción de cápsulas en las diferentes densidades (Figura 8). La pulpa con la menor producción de cápsulas es la pulpa con 0 días de descompuesta. La pulpa que ocupa el segundo lugar en producción de cápsulas para el segundo conteo es la pulpa con 14 días de descompuesta, le sigue la pulpa de 21 días de descompuesta y en cuarto lugar la pulpa con 7 días de descompuesta.

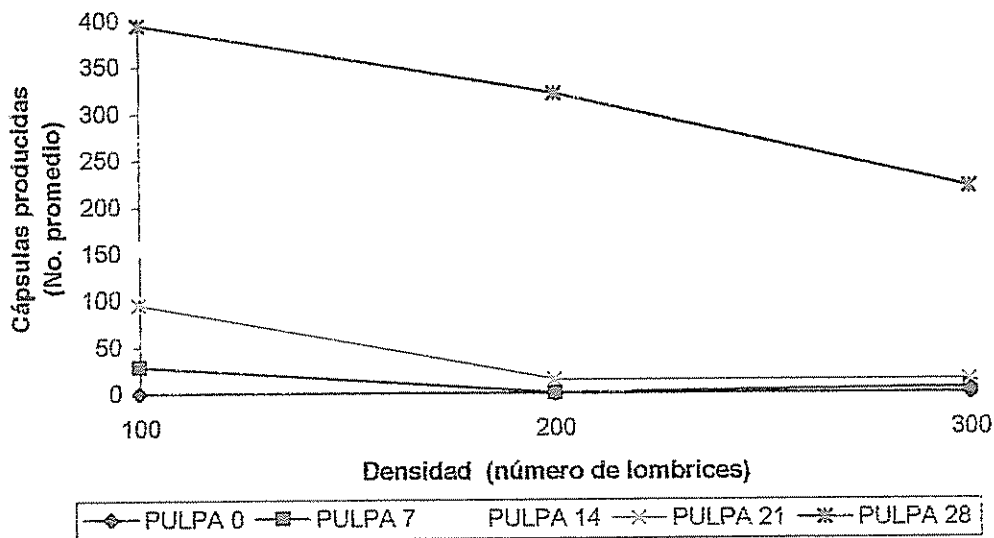


Figura 8. Variación de la producción de cápsulas en los diferentes PDP por densidades para el segundo conteo.

En el tercer conteo la densidad 100 lombrices continúa siendo la mayor productora de cápsulas en las pulpas de 7, 21 y 28 días de descompuesta (Figura 9), solo en la pulpa con 14 días de descompuesta la densidad 100 tuvo una producción muy semejante a la densidad de 200 lombrices. Las densidades de 200 y 300 lombrices muestran producciones de cápsulas similares en los diferentes periodos de descomposición de las pulpas, y solamente la densidad 200 es superada por la densidad 300 en la pulpa con 28 días de descompuesta. El análisis de regresión mostró un comportamiento lineal de la producción de cápsulas para la densidad de 100 lombrices y el comportamiento de las densidades 200 y 300 lombrices fue homogéneo para los diferentes periodos de descomposición de la pulpa, como consecuencia las regresiones no ajustaron (Cuadro 8).

La variación en el porcentaje promedio de cápsulas producidas en los

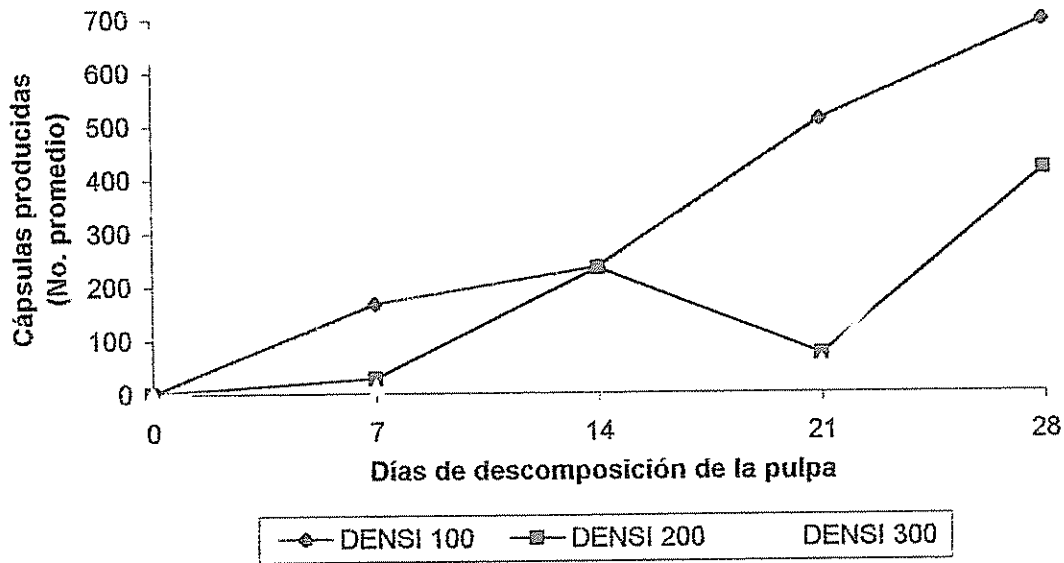


Figura 9. Variación en la producción de cápsulas de las densidades por los diferentes PDP para el tercer conteo.

diferentes períodos de descomposición de la pulpa, por densidad para el tercer conteo, muestra a la pulpa con 28 días de descompuesta con la mayor producción de cápsulas en las diferentes densidades (Figura 10).

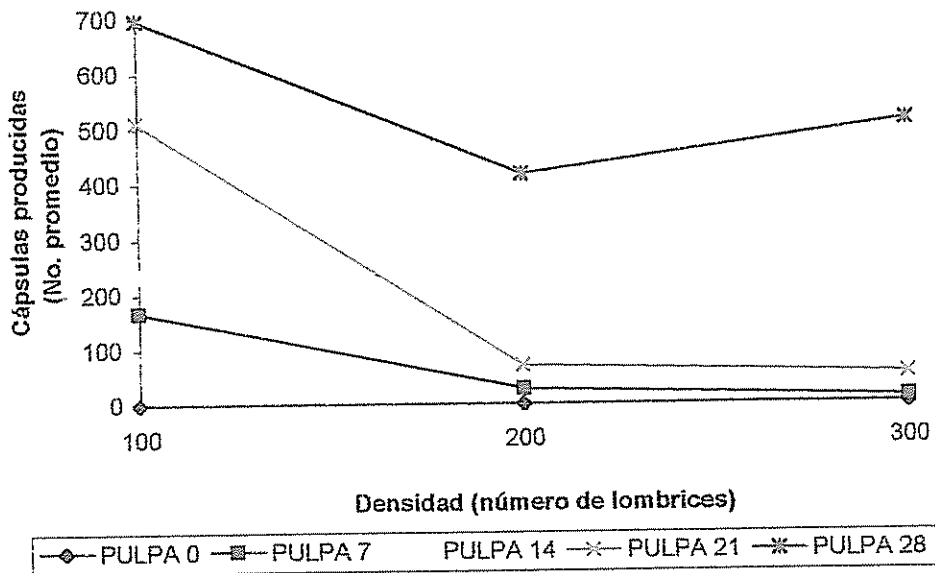


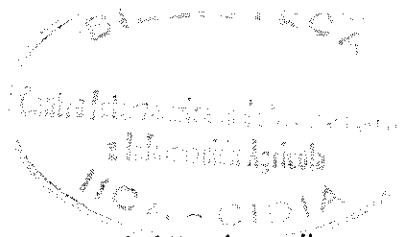
Figura 10. Cambios en la producción de cápsulas de los diferentes PDP por las densidades para el tercer conteo.

La pulpa que ocupa el segundo lugar en producción de cápsulas es la pulpa con 14 días de descompuesta que es superada únicamente por la pulpa de 21 días en la densidad de 100 lombrices. Además, la pulpa de 0 días es la menor productora de cápsulas seguida de la pulpa de 7 días.

La producción de cápsulas en el tiempo fue mayor y estadísticamente significativa diferente al resto de los períodos de descomposición de la pulpa en la pulpa con 28 días de descompuesta (Cuadro A 3.). La pulpa con 0 días de descompuesta tuvo la menor producción de cápsulas y estadísticamente su producción fue similar a la pulpa con 7 días de descompuesta (Cuadro A 3). La pulpa 28 ofrece las mejores condiciones para el desarrollo de las lombrices. El proceso de descomposición en esta pulpa, se ha estabilizado y las lombrices se pueden alimentar de la materia orgánica sin el problema de que el proceso de descomposición continúe en su tracto digestivo y mueran. En la pulpa con 0 días de descompuesta está en proceso de descomposición cuando se introducen las lombrices. Los cambios químicos, la poca aireación que provoca la fermentación de la pulpa con la consecuente liberación de amoníaco que altera el proceso digestivo de la lombriz, son factores que limitan el desarrollo de las lombrices en la pulpa con 0 días de descompuesta.

En general existe un incremento de la producción de cápsulas en relación con el tiempo de descomposición de la pulpa, porque la pulpa con 7 días de descompuesta produjo más que la pulpa con 0 días; la pulpa con 14 días produjo más cápsulas que la pulpa 0 ó 7 días y así sucesivamente. Se establece que el período de descomposición de la pulpa afecta la reproducción de la lombriz.

La densidad de 100 lombrices obtuvo los promedios mayores de producción de cápsulas en los conteos realizados, las densidades de 200 y 300 lombrices tuvieron valores similares generalmente, demostrando que la densidad afecta la reproducción como lo reporta Reeh (1992). En densidades menores existe más alimento y espacio estimulando de esta forma su reproducción.



6.1.1.3 Número de lombrices juveniles

En el Cuadro 9 se presenta el número promedio de lombrices juveniles nacidas para los diferentes períodos de descomposición de la pulpa, densidades de lombrices y número de conteo.

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas para densidad, PDP, número de conteo, densidad por número de conteo y PDP por conteo (Cuadro A.1).

Cuadro 9 . Número promedio de lombrices juveniles producidas en los diferentes tratamientos y número de conteo.

PDP	1 ^{ER} conteo densidad			2 ^{DO} conteo densidad			3 ^{ER} conteo densidad			Suma
	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
0 Días	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	4,8	0,0	1,5	7,5	15,3
7 Días	0,0	0,0	0,0	1,0	8,3	14,0	2,3	9,8	11,8	47,2
14 Días	0,0	0,0	0,0	4,3	11,0	6,8	7,5	14,3	11,8	55,7
21 Días	0,0	0,0	0,0	0,5	7,0	6,3	2,3	7,5	7,0	30,6
28 Días	0,0	0,0	0,0	2,0	73,0	8,3	83,0	23,8	42,5	232,6
Suma	0,0	0,0	0,0	7,8	100,8	40,2	95,1	56,9	80,6	232,6

En la Figura 11 se presenta el comportamiento de la producción de lombrices juveniles en los períodos de descomposición de pulpa para los números de conteo. En la primera fecha de evaluación la producción de lombrices juveniles es cero. En el conteo dos la producción de lombrices juveniles es muy similar entre las pulpas. Este comportamiento podría responder a que las cápsulas en todas las pulpas para la fecha dos empiezan a eclosionar en forma homogénea. Para el tercer conteo la pulpa con 28 días de descompuesta tiene la mayor producción de lombrices juveniles y la producción en los otros PDP continúa siendo similar. La mayor producción de lombrices juveniles en la pulpa 28 es el resultado de la mayor producción de cápsulas en esta pulpa.

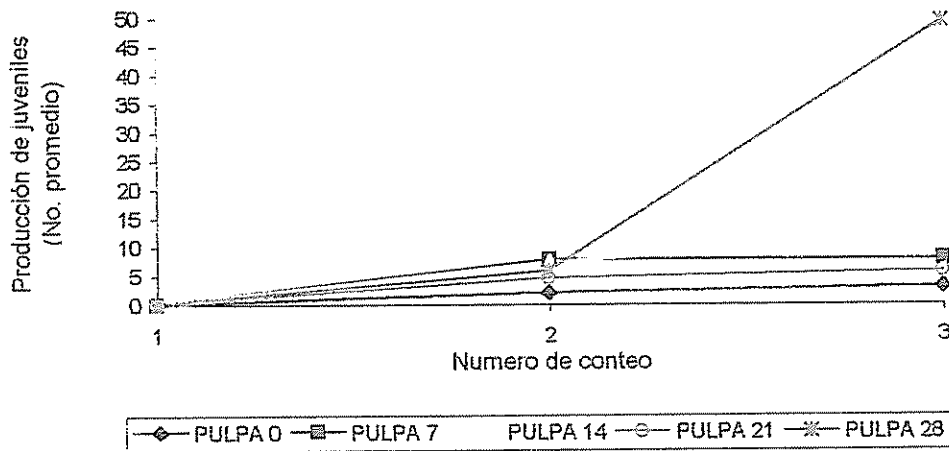


Figura 11. Variación de la producción de lombrices juveniles en las pulpas por número de conteo.

En la Figura 12 se presenta el comportamiento de la producción de lombrices juveniles en las diferentes densidades por número de conteo. La densidad de 300 lombrices en la fecha dos, tuvo la mayor producción de los juveniles seguida de la densidad de 200 lombrices y finalmente, la densidad de 100 lombrices.

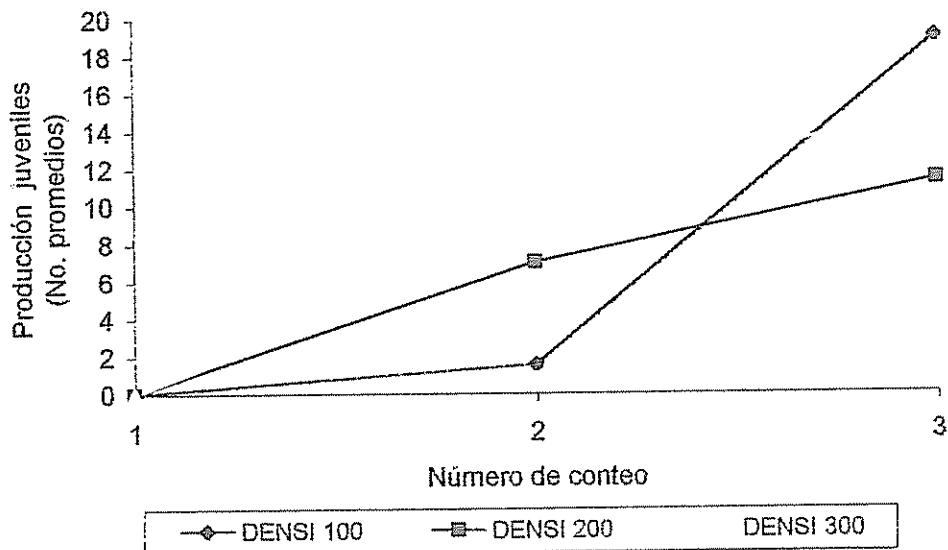


Figura 12. Variación de la producción de lombrices juveniles en las densidades por número de conteo.

Para la fecha tres la densidad de 100 lombrices es la mayor productora de juveniles seguida por la densidad 300 y finalmente tenemos la densidad de 200 lombrices.

A pesar de que la densidad 100 lombrices es la mayor productora de cápsulas, en la producción de lombrices juveniles se observa que es hasta la fecha tres, que esta densidad logra los promedios mayores de lombrices juveniles, los cuales concordarían con la mayor producción de huevos. Las densidades de 300 y 200 lombrices obtuvieron la mayor producción de lombrices juveniles para la fecha dos, lo que refleja una mayor fecundidad de las cápsulas de estas densidades para la fecha dos, con respecto a la densidad de 100 lombrices.

6.1.1.4. Biomasa (peso fresco) de las lombrices

En el Cuadro 10 se presenta la variación promedio de biomasa (peso fresco) de las lombrices para los diferentes períodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices.

Cuadro 10. Variación promedio de la biomasa (g de peso fresco) en los diferentes períodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices.

PDP	Densidad 100	Densidad 200	Densidad 300	Promedio
0 Días	50,2	5,8	-4,9	17,0
7 Días	318,5	10,6	36,4	121,8
14 Días	311,5	6,7	45,8	121,3
21 Días	312,9	31,9	41,9	128,9
28 Días	327,1	47,9	70,8	148,6
Promedio	264,0	20,6	38,0	148,6

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas para densidad, PDP y la interacción densidad por PDP (Cuadro A. 5).

La densidad de 100 lombrices obtuvo un incremento mayor de biomasa y

este incremento fue significativamente diferente del obtenido en las otras dos densidades (Cuadro 11). La pulpa con menor incremento de biomasa es la pulpa con 0 días de descompuesta y su incremento es significativamente diferente del resto de las pulpas.

Cuadro 11. Resultados de la comparación de medias para la variable incremento en el peso de las lombrices.

Factor de variación	Media(g)
Densidad de 100 lombrices	264,0 ^a
Densidad de 300 lombrices	38,0 ^b
Densidad de 200 lombrices	20,6 ^b
Pulpa con 28 días de descompuesta	148,6 ^a
Pulpa con 21 días de descompuesta	128,9 ^a
Pulpa con 7 días de descompuesta	121,9 ^a
Pulpa con 14 días de descompuesta	121,4 ^a
Pulpa con 0 días de descompuesta	17,0 ^b

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

El incremento de biomasa en la densidad de 100 lombrices fue mayor en las pulpas con 7 o más días de descompuestas y el incremento en las densidades de 200 y 300 lombrices fue mucho menor en comparación con la densidad de 100 lombrices (Figura 13).

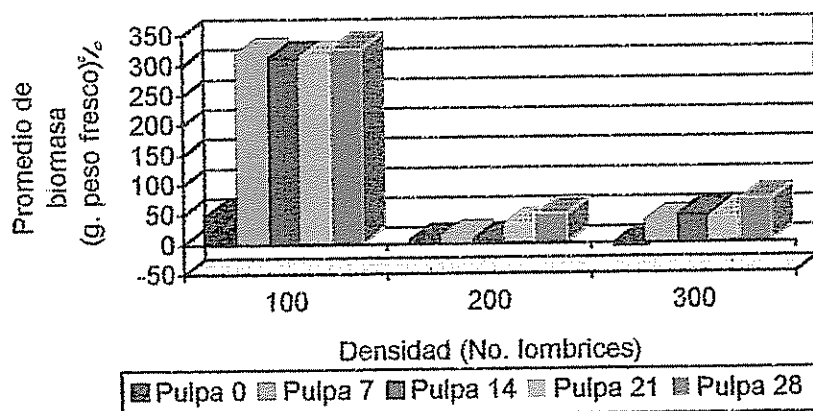


Figura 13. Variación promedio de la biomasa de las lombrices en las densidades por períodos de descomposición de la pulpa.

Lo anterior concuerda con los datos obtenidos por Reeh (1992) y Domínguez y Edwards (1997), en cuanto a que el incremento en peso es mayor en las densidades menores.

Las variables analizadas en los aspectos relacionados con la reproducción y el crecimiento de las lombrices, muestra que existe un efecto de la densidad de las lombrices y el período de descomposición de la pulpa. En general la densidad de 100 lombrices se reprodujo mejor que las otras densidades y logró incrementos mayores de biomasa debido a la menor competencia por alimento y espacio. La pulpa con 28 días de descompuesta tuvo los mejores promedios de reproducción y peso de las lombrices, porque el proceso de descomposición se había estabilizado, la temperatura no se incrementó durante la inoculación de las lombrices y el valor del pH es neutro. La pulpa con 0 días obtuvo los menores promedios, porque estaba en proceso de descomposición y los cambios químicos así como la poca aireación, afectaron la reproducción, crecimiento y sobrevivencia de las lombrices.

6.1.2 Producción de lombricompuesto

6.1.2.1 Porcentaje de peso y volumen de pulpa transformada a lombricompuesto

En el Cuadro 12 se presenta el porcentaje promedio de peso y el volumen de pulpa que se transformó a lombricompuesto para los diferentes tratamientos.

Cuadro 12. Porcentaje promedio de pulpa, con base en peso seco y volumen, que fueron transformados en lombricompuesto en los diferentes tratamientos.

PDP	Densidad 100		Densidad 200		Densidad 300		Promedio	
	peso seco	volumen	peso seco	volumen	peso seco	Volumen	peso seco	volumen
0	8,2	8,2	14,0	2,0	16,8	2,4	13,0	4,2
7	23,4	4,5	19,4	3,9	18,9	3,5	20,6	4,0
14	41,5	18,6	44,2	14,5	36,4	11,4	40,7	14,8
21	30,0	14,6	30,6	12,8	27,8	8,9	29,5	12,1
28	36,2	27,1	46,1	33,5	30,9	20,1	37,7	26,9

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas solamente para el factor PDP (Cuadro A.6). El porcentaje de conversión de peso seco de la pulpa a lombricompuesto, en la pulpa con 14 días de descompuesta, fue significativamente diferente a la pulpa con 0, 7 y 21 días, pero similar a la pulpa con 28 días de descompuesta. Las pulpas con 28 y 21 días de descompuestas no mostraron diferencias significativas entre ellas, de igual manera que las pulpas 0 y 7 (Cuadro 13). La pulpa con más de 14 días de descompuesta tendría las mejores condiciones aeróbicas, cantidad de nutrientes, pH, temperatura, en general ausencia de condiciones tóxicas, como la fermentación, para que las lombrices se alimentaran y transformaran la pulpa en lombricompuesto. Posiblemente las sustancias polifenólicas de la pulpa se han descompuesto después de transcurridas dos semanas, lo que no pasaría en la pulpa con 0 ó 7 días de descompuesta.

Cuadro 13. Resultados de la comparación de medias para el porcentaje del peso de pulpa convertida a lombricompuesto.

Factor de variación	Media (%)
Pulpa con 14 días de descompuesta	40,70 ^a
Pulpa con 28 días de descompuesta	37,74 ^{ab}
Pulpa con 21 días de descompuesta	29,41 ^b
Pulpa con 7 días de descompuesta	20,55 ^c
Pulpa con 0 días de descompuesta	13,01 ^c

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

CUADRO 14. Modelos de regresión para el porcentaje de peso y volumen de pulpa convertida a lombricompuesto, de acuerdo al período de descomposición de la pulpa y la densidad.

FACTOR	NIVEL	MODELO	R ²
Período de descomposición	0-28	$Y_1 = 16,6 + 0,8 X$	0,63 ^{NS}
Densidad	100	$Y_2 = 7,3 + 0,4 X$	0,79 ^{**}
Densidad	200	$Y_2 = 5,4 + 0,6 X$	0,68 ^{NS}
Densidad	300	$Y_2 = 7,5 + 0,1 X$	0,16 ^{NS}

X= Período de descomposición de la pulpa
Y₂= Porcentaje de volumen

Y₁= Porcentaje de peso
NS = No significativo

En la Figura 14 se presenta la densidad de 200 lombrices en la pulpa con 28 y 14 días de descompuesta, con los porcentajes mayores de conversión que las otras densidades y pulpas. Sin embargo, no existieron diferencias significativas entre las densidades con respecto al porcentaje de pulpa que se convirtió a lombricomposteo.

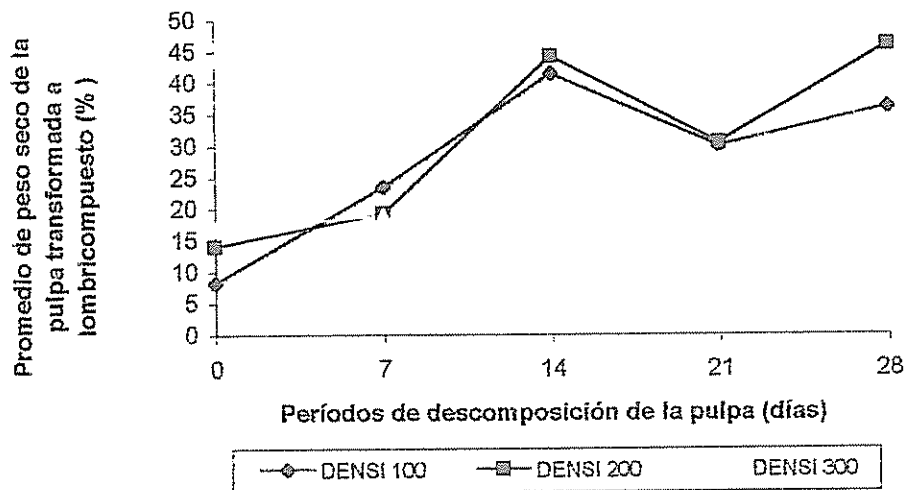


Figura 14. Variación en el porcentaje de peso seco de la pulpa que se convirtió a lombricomposteo en las densidades por PDP.

El análisis estadístico del porcentaje del volumen de pulpa convertida a lombricomposteo, mostró diferencias significativas en todos los factores y sus interacciones (Cuadro A. 6).

La pulpa con 28 días de descomposición tuvo los volúmenes mayores de conversión, con respecto a los otros períodos de descomposición de la pulpa (Figura 15). Las pulpas con 14 y 21 días de descompuestas tuvieron un volumen de conversión a lombricomposteo similar, pero menor a la pulpa con 28 días de descompuesta. Las pulpas con 7 y 0 días de descompuesta tuvieron volúmenes de conversión semejante y su volumen de conversión fue menor que el de las pulpas con 14, 21 y 28 días de descompuesta.

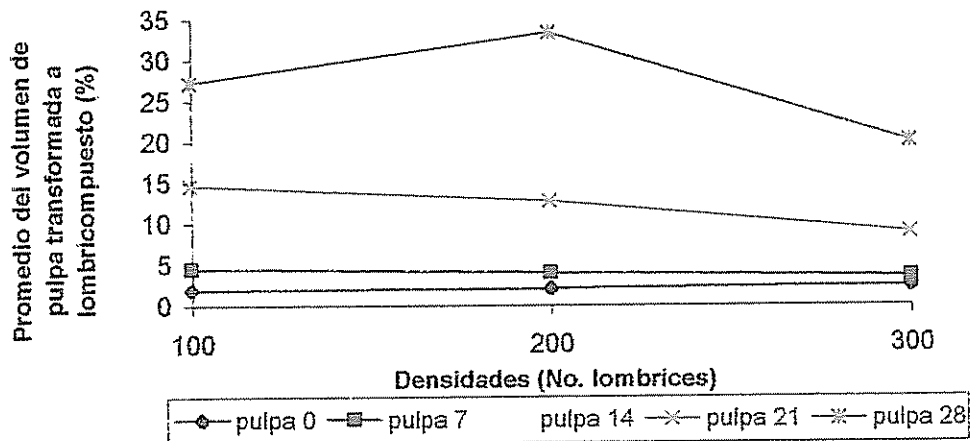


Figura 15. Variación en el porcentaje de volumen de la pulpa transformada a lombricompuesto en los PDP por densidad de lombrices.

El comportamiento de las densidades en los diferentes períodos de descomposición de la pulpa, para el porcentaje de volumen de pulpa convertido a lombricompuesto, se presenta en la Figura 16.

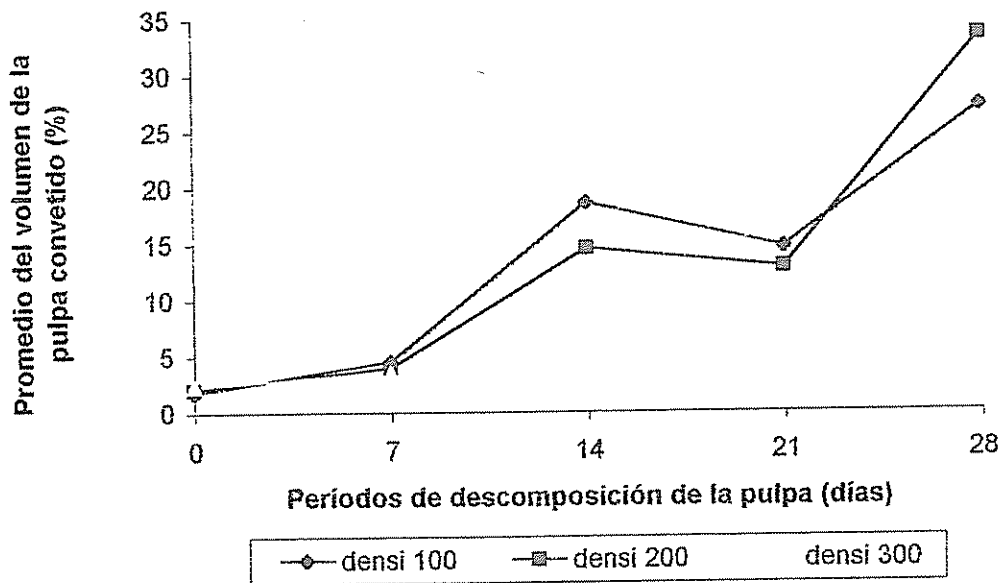


Figura 16. Variación en el porcentaje de volumen de la pulpa transformada a lombricompuesto en las densidades por PDP.

La densidad de 100 lombrices tuvo una mayor conversión del porcentaje del volumen a lombricompuesto para las pulpas de 14 y 21 días de descompuesta. Sin embargo, la densidad de 200 lombrices tuvo un volumen mayor en la pulpa con 28 días de descompuesta, con respecto a la densidad de 100 lombrices. En cuanto a la densidad de 300 lombrices, sus medias de porcentaje del volumen de pulpa inicial en relación con el lombricompuesto generado, fueron siempre las más bajas en todas las pulpas.

La variable porcentaje del volumen de pulpa convertido en lombricompostaje tuvo un comportamiento lineal para la densidad de 100 lombrices, pero el comportamiento para las densidades de 200 y 300 lombrices no se ajustó. Los modelos de regresión se presentan en el Cuadro 14.

En el manejo de grandes volúmenes de pulpa utilizando lombrices, la pulpa con 14 días de descompuesta tiene una gran ventaja en tiempo con respecto a las pulpas de 21 y 28 días de descompuesta. Si se coloca una capa de pulpa con un espesor de 20 cm para ser procesada por las lombrices, el porcentaje de conversión en peso de pulpa a lombricompuesto es muy semejante al producido cuando se utiliza pulpa con 28 días; aunque su volumen sea menor al producido por la pulpa con 28 días de descompuesta. Además, el comportamiento biológico de la lombriz en la pulpa con 14 días de descompuesta es bueno y en algunas variables como producción de cápsulas, número de lombrices juveniles e incremento de biomasa, la pulpa con 14 días ocupa el segundo lugar en producción, con respecto a la pulpa con 28 días de descompuesta. En el caso de tener una limitante de espacio donde se desarrolla la actividad de lombricultura, la pulpa con 14 días de descompuesta produciría lombricompuesto con menos volumen y más peso.

6.1.3 Tiempo requerido para procesar la pulpa

En el Cuadro 15 se presenta el número de días necesarios para procesar la pulpa en los diferentes PDP y densidades de lombrices.

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas en la densidad de lombrices (Cuadro A. 7). La densidad de 300 lombrices obtuvo la

Cuadro 15. Número de días promedio necesarios para procesar la pulpa en los diferentes períodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices.

PDP	Densidad 100	Densidad 200	Densidad 300
0 Días	53,3	53,3	55,3
7 Días	51,3	51,3	47,5
14 Días	52,5	52,5	47,5
21 Días	52,8	52,8	47,5
28 Días	53,8	53,8	47,5

media menor de tiempo, 49 días, para procesar la pulpa. No existieron diferencias significativas para las densidades 100 y 200 lombrices en relación con el tiempo para procesar la pulpa (Cuadro 16).

Cuadro 16. Resultados de la comparación de medias de las diferentes densidades para la variable tiempo para procesar la pulpa.

Factor de variación	Media (días)
Densidad de 100 lombrices	52,7 ^a
Densidad de 200 lombrices	52,7 ^a
Densidad de 300 lombrices	49,1 ^b

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p=0,05$).

El hecho de que la densidad con mayor número de lombrices procesara la pulpa en menos días concuerdan con los resultados de Dávila y Ramírez (1996). Sin embargo, la disminución en el tiempo de procesamiento de la pulpa no lleva necesariamente a obtener una cantidad mayor en peso y volumen de lombricompuesto. Si se comparan los datos de la conversión en peso y volumen de pulpa, con el peso y volumen del lombricompuesto generado, se aprecia que la densidad de 300 lombrices siempre se mantuvo produciendo menos

lombricompuesto en peso y volumen que las densidades de 200 y 100 lombrices (Figura 14 y 16). Los datos muestran que existe una densidad óptima entre 100 y 200 lombrices para procesar un volumen de 4,2 litros.

6.1.4 Características químicas y físicas de la pulpa y el lombricompuesto

6.1.4.1 Características químicas de la pulpa de café en los diferentes estados de descomposición y del lombricompuesto producido

En los Cuadros 17 y 18 se presentan los resultados de los análisis químicos para las muestras de la pulpa con los diferentes períodos de descomposición y el lombricompuesto producido en cada tratamiento, al final del experimento.

Cuadro 17. Análisis químico de la pulpa con los diferentes períodos de descomposición.

Períodos de descomposición de la pulpa	Ca	Mg	K	P	N	Cu	Mn	Zn	MO
	%					mg/kg.			%
Pulpa con 0 días	0,55	0,17	1,77	0,1	2,18	20,62	118,4	7,71	94,6
Pulpa con 7 días	0,75	0,21	3,10	0,2	3,15	26,80	163,2	20,72	90,9
Pulpa con 14 días	0,80	0,19	1,68	0,2	3,54	22,68	189,4	33,25	93,9
Pulpa con 21 días	0,82	0,22	1,04	0,2	3,66	30,93	162,0	11,56	95,0
Pulpa con 28 días	0,77	0,25	0,56	0,2	3,40	26,80	150,8	9,64	95,6

El Cuadro 19 presenta los porcentajes de incremento o reducción de los elementos, al comparar la pulpa inicial con el lombricompuesto resultante en los diferentes tratamientos. Existe un incremento en el total de calcio, manganeso, magnesio, cobre y zinc; incrementos que concuerdan con los reportados por Rodríguez *et al.* (1992) y Orozco *et al.* (1996). Se presenta una reducción generalizada del nitrógeno, que se podría explicar por la mineralización o pérdida por la descomposición, ya que las mayores diferencia se reportan para las pulpas con 0, 7 y 14 días de descompuestas y las reducciones menores se dan en la pulpa con 28 días de descomposición.

El potasio se redujo en algunos tratamientos posiblemente causado por la lixiviación. Los contenidos fósforo tienden a mantenerse constantes en todas las muestras, y el incremento en las pulpas con 0 días de descompuesta podría responder a la incorporación de fósforo contenido en los tejidos de las lombrices

Cuadro 18. Análisis químico del lombricompostado obtenido en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Ca	Mg	K	P	N	Cu	Mn	Zn	MO
	%					mg/kg.			%
Pulpa 0 densidad 100	0,74	0,44	1,68	0,2	1,73	51,55	324,0	36,14	36,1
Pulpa 0 densidad 200	0,94	0,39	2,45	0,2	1,27	55,67	261,7	38,55	36,1
Pulpa 0 densidad 300	1,05	0,44	2,40	0,2	1,31	57,73	274,1	39,03	34,8
Promedio pulpa 0	0,91	0,42	2,18	0,2	1,44	54,93	286,6	37,91	35,7
Pulpa 7 densidad 100	0,75	0,40	1,74	0,2	1,95	45,36	261,7	50,11	45,8
Pulpa 7 densidad 200	0,99	0,42	2,45	0,2	1,88	49,48	299,1	56,38	46,5
Pulpa 7 densidad 300	1,14	0,40	2,56	0,2	1,63	51,55	336,4	48,19	49,6
Promedio pulpa 7	0,96	0,41	2,25	0,2	1,82	48,80	298,8	51,56	47,3
Pulpa 14 densidad 100	1,12	0,37	1,62	0,2	2,64	55,67	249,2	27,47	71,2
Pulpa 14 densidad 200	1,02	0,38	1,46	0,2	2,51	51,55	286,6	29,88	57,4
Pulpa 14 densidad 300	0,87	0,37	1,02	0,2	2,33	51,55	286,6	31,80	53,9
Promedio pulpa 14	1,00	0,37	1,35	0,2	2,49	52,92	274,1	29,72	60,8
Pulpa 21 densidad 100	0,84	0,38	1,01	0,2	2,94	49,48	196,9	25,54	75,0
Pulpa 21 densidad 200	0,92	0,39	0,91	0,2	2,87	49,48	249,2	25,54	71,6
Pulpa 21 densidad 300	0,89	0,41	0,74	0,2	2,49	47,42	249,2	30,84	53,3
Promedio pulpa 21	0,88	0,39	0,89	0,2	2,77	48,79	231,7	27,31	66,6
Pulpa 28 densidad 100	0,94	0,33	1,14	0,2	2,94	51,55	249,2	28,91	80,1
Pulpa 28 densidad 200	1,00	0,37	1,06	0,2	3,12	55,67	249,2	27,47	76,0
Pulpa 28 densidad 300	0,97	0,38	0,95	0,2	3,06	47,42	249,2	24,58	68,3
Promedio pulpa 28	0,97	0,36	1,05	0,2	3,04	51,55	249,2	27,06	68,3

muertas. Es posible que el método no fuese lo suficientemente sensible para detectar diferencias porque todos los tratamientos son similares. La no variación del fósforo se contradice con lo reportado por Rodríguez *et al.* (1992), debido a que ellos encontraron disminuciones en el fósforo. Se observa una reducción generalizada en el contenido de la materia orgánica en el lombricompostado, con respecto a la pulpa.

CUADRO 19. Variación porcentual del contenido de elementos químicos del lombricompost con respecto a la pulpa, con los diferentes períodos de descomposición en los tratamientos.

Tratamientos	Ca	Mg	K	P	N	Cu	Mn	Zn	MO
	%								
Pulpa 0 densidad 100	34,5	159	-5,1	100	-21,0	150,0	174,0	369,0	-61,8
Pulpa 0 densidad 200	52,7	129	38,0	100	-42,0	170,0	121,0	400,0	-61,8
Pulpa 0 densidad 300	90,0	159	36,0	100	-40,0	180,0	132,0	406,0	-63,1
Pulpa 7 densidad 100	0,0	90,5	-43,9	0	-38,1	69,3	60,4	141,8	-49,6
Pulpa 7 densidad 200	32,0	100	-21,0	0	-40,3	84,6	83,3	172,1	-48,8
Pulpa 7 densidad 300	52,0	90,5	-17,4	0	-48,3	92,4	106,0	132,6	-45,4
Pulpa 14 densidad 100	40,0	94,7	-3,6	0	-25,4	145,5	31,6	-17,4	-24,1
Pulpa 14 densidad 200	27,5	100	-13,1	0	-29,1	127,3	51,3	-10,1	-38,8
Pulpa 14 densidad 300	8,8	94,7	-39,3	0	-34,2	127,3	51,3	-4,4	-42,6
Pulpa 21 densidad 100	2,4	72,7	-2,9	0	-19,7	59,9	21,5	120,9	-21,0
Pulpa 21 densidad 200	12,2	77,3	-12,5	0	-21,6	59,9	53,8	120,9	-24,6
Pulpa 21 densidad 300	8,5	86,4	-28,9	0	-32,0	53,3	53,8	166,8	-43,8
Pulpa 28 densidad 100	22,1	32,0	104	0	-13,5	92,4	65,3	199,9	-16,2
Pulpa 28 densidad 200	29,9	48,0	89,3	0	-8,2	107,7	65,3	184,9	-20,5
Pulpa 28 densidad 300	25,9	52,0	69,6	0	-10,0	76,9	65,3	154,9	-28,5

La reducción de hasta un 63% de materia orgánica se presentó en las pulpas de 0 y 7 días de descompuesta, donde los porcentajes de mortalidad de lombrices fueron los mayores (Cuadro 6). Las reducciones menores correspondieron a la pulpa con 28 días de descompuesta, donde el rango de mortalidad de las lombrices fue menor (Cuadro 6). Lavelle (1988) y Edwards (1995) reportan que el efecto de las lombrices sobre el desecho orgánico, es el de aumentar su mineralización y la humificación de la materia orgánica. Además, las lombrices están utilizando el material para su desarrollo y reproducción.

Durante el cernido del lombricompost se obtuvo material sin descomponer, el cual no se analizó químicamente y esta fracción de material podría contabilizarse dentro de la fracción de materia orgánica que corresponde a pérdida.

Vinceslas y Loquet (1997) encontraron que en el vermicompost, usando desechos de maple comparado con el compostaje, hubo reducción de la materia

orgánica en el vermicompostaje pero las variables evaluadas para ambos tratamientos mostraron que el vermicompostaje, tenía un estado más avanzado de humificación que el compostaje.

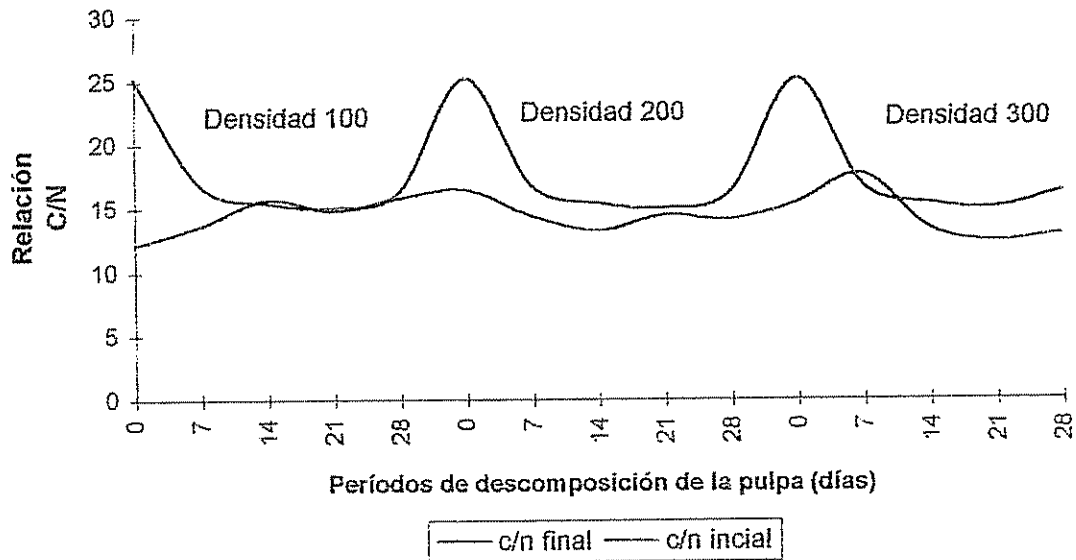


Figura 17. Variación de la relación C/N en la pulpa inicial con diferentes estados de descomposición para las densidades y el lombricompostado resultante.

Cuando se comparó la evolución de relación C/N en las pulpas iniciales con diferentes períodos de descomposición y la relación C/N que se obtuvo en el lombricompostado, se encontró que existe una reducción en el lombricompostado comparado con la pulpa inicial (Figura 17). El rango de la relación C/N para los diferentes tratamientos osciló entre 18 y 12. Aranda (1992), Centro de investigación y desarrollo (1996) y Werner y Cuevas (1996), expresan que una relación entre 9 y 13, significa que el lombricompostado está bien procesado.

El análisis estadístico de cada nutriente en los tratamientos no mostró diferencias significativas para el calcio, magnesio, cobre y manganeso con respecto a la pulpa y densidad (Cuadro A. 8). Sin embargo, para el nitrógeno, hubo diferencias significativas por pulpa. La pulpa con el período de descomposición de 28 días obtuvo una media mayor que las pulpas de 0, 7 y 14

días de descompuesta, aunque no para la pulpa de 21 días (Cuadro 20).

Cuadro 20. Resultados de la comparación de medias para la variables contenido de nitrógeno, zinc y materia orgánica en el lombricompuesto.

Variable	Media	Factor de variación
Nitrógeno (%)	3,0 ^a	pulpa con 28 días de descompuesta
	2,8 ^{ab}	pulpa con 21 días de descompuesta
	2,5 ^b	pulpa con 14 días de descompuesta
	1,8 ^c	pulpa con 7 días de descompuesta
	1,4 ^c	pulpa con 0 días de descompuesta
Zinc (mg/kg)	51,6 ^a	pulpa con 7 días de descompuesta
	37,9 ^b	pulpa con 0 días de descompuesta
	29,7 ^{bc}	pulpa con 14 días de descompuesta
	27,3 ^c	pulpa con 21 días de descompuesta
	27,0 ^c	pulpa con 28 días de descompuesta
Materia orgánica (%)	74,8 ^a	pulpa con 28 días de descompuesta
	66,7 ^a	pulpa con 21 días de descompuesta
	60,9 ^{ab}	pulpa con 14 días de descompuesta
	47,4 ^{bc}	pulpa con 7 días de descompuesta
	35,7 ^c	pulpa con 0 días de descompuesta

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

El contenido de zinc presentó diferencias significativas para los PDP (Cuadro A 8). Las cantidades de zinc en la pulpa de 7 días fueron mayores que en las pulpas 0, 14, 21, y 28 días. Los contenidos de este elemento en las pulpas de 0 y 14 días de descompuesta no mostraron diferencias estadísticas significativas, ni las pulpas de 14, 21 y 28 días de descompuesta (Cuadro 20).

Los contenidos de materia orgánica fueron significativamente diferentes para la pulpa de 28 días con respecto a la pulpa de 7 y 0 días de descompuesta (Cuadro 20). Asimismo, la pulpa de 28 días de descompuesta tuvo la media mayor y no existieron diferencias significativas entre esta pulpa y la de 21 y 14 días de descompuesta.

La diferencia entre los tratamientos se podría deber a que existen transformaciones o pérdidas de materia orgánica y nitrógeno durante el proceso de descomposición, que pudieron afectar los resultados finales.

6.1.4.2 pH de la pulpa con los diferentes períodos de descomposición

El análisis estadístico para esta variable mostró diferencias significativas en los PDP (Cuadro A.9). En el Cuadro 21 se presenta la comparación de medias de las pulpas con diferentes estados de descomposición, antes de inocular las lombrices.

CUADRO 21. Valores promedio del pH de la pulpa de café con diferentes períodos de descomposición.

Factor de variación	pH
Pulpa con 14 días de descomposición	8,3 ^a
Pulpa con 7 días de descomposición	8,2 ^a
Pulpa con 21 días de descomposición	7,8 ^a
Pulpa con 28 días de descomposición	7,7 ^a
Pulpa con 0 días de descomposición	5,7 ^b

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

El pH de la pulpa con un período de descomposición de 0 días difirió significativamente de las pulpas 7, 14, 21 y 28 días de descompuesta, las cuales no difieren significativamente entre ellas (Cuadro 19).

El valor inicial del pH de la pulpa 0 días de descomposición puede ser una de las razones por las cuales hubo un alto porcentaje de mortalidad de *Eisenia fetida*, ya que esta lombriz es considerada neutrófila (Kaplan *et al*, 1980; Tineo, 1994; Corredor, 1995).

En la Figura 18 se muestra el comportamiento del pH en las pulpas con los diferentes períodos de descomposición. La figura muestra las medias del pH de las pulpas durante el proceso de descomposición. Se observa que el valor del pH en las pulpas es inicialmente ácido, tendiendo luego a aumentar hasta valores de

8,3 en la pulpa con 14 días de descomposición, para luego disminuir a valores de 7,7 en la pulpa con 28 días de descompuesta, donde el proceso de descomposición de la pulpa se ha estabilizado.

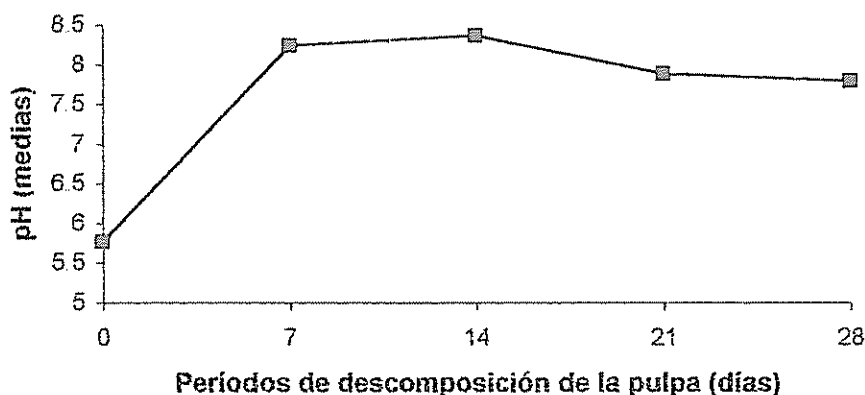


Figura 18. Variación del pH en las pulpas con diferentes estados de descomposición.

6.1.4.3 pH del lombricompuesto

En el Cuadro 22 se presenta los resultados correspondientes al pH del lombricompuesto para los diferentes periodos de descomposición de la pulpa y densidades de lombrices.

Cuadro 22. Valores promedio del pH del lombricompuesto obtenidos en los diferentes tratamientos.

PDP	Densidad 100	Densidad 200	Densidad 300
0 Días	9,2	9,3	9,3
7 Días	8,6	8,9	9,1
14 Días	6,9	7,3	7,2
21 Días	5,9	5,9	6,2
28 Días	6,3	6,4	6,7

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas en la densidad de lombrices y los PDP (Cuadro A. 9). El lombricompuesto proveniente de la densidad de 300 lombrices tuvo el mayor valor medio de pH: 7,7

el cual difirió significativamente de la densidad 100, pero no de la 200 (cuadro 23). Aunque hubo diferencias significativas entre el valor del pH en las densidades los valores son muy semejantes.

Cuadro 23. Resultados de la comparación de medias para la variable pH del lombricompuesto.

Factor de variación	pH
Densidad de 300 lombrices	7,7 ^a
Densidad de 200 lombrices	7,6 ^{ab}
Densidad de 100 lombrices	7,4 ^b
Pulpa con 0 días de descomposición	9,3 ^a
Pulpa con 7 días de descomposición	8,9 ^b
Pulpa con 14 días de descomposición	7,2 ^c
Pulpa con 28 días de descomposición	6,5 ^d
Pulpa con 21 días de descomposición	6,0 ^e

Medias con la misma letra no difieren significativamente ($p < 0.05$ según Tukey).

Todas las pulpas mostraron ser significativamente diferentes (Cuadro 23). La pulpa de 0 días de descomposición presentó el pH mayor (9,3) y la pulpa de 28 días de descomposición el más bajo (6,0). El aumento del pH en la pulpa 0 días de descompuesta se podría explicar por la muerte de las lombrices las cuales contribuyeron a aumentar el pH debido a que las lombrices, contienen glándulas calcáreas.

En la Figura 19 se muestra la variación del pH en las pulpas iniciales para los diferentes días de descomposición y el pH del lombricompuesto producido en los diferentes tratamientos. Se observa que después de la acción de las lombrices el pH tiende a tener un valor más neutro principalmente para las pulpas con 14 a 28 días de descompuestas. También, el pH tiende a ser más alto en el lombricompuesto cuanto menos descompuesta estaba la pulpa en el momento de introducir las lombrices.

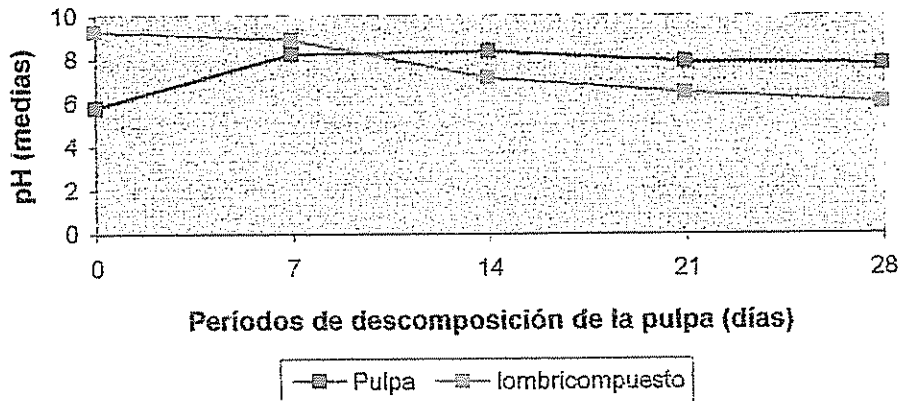


Figura 19. Variación del pH en las pulpas con diferentes períodos de descomposición y el lombricompuesto producido al final de los tratamientos.

Se observa en la Figura 19 el efecto de la reducción del pH cuando se introducen las lombrices y un aumento en las pulpas donde la mortalidad de lombrices fue mayor como en el caso de la pulpa con 0 días de descomposición.

6.1.4.4 Temperatura del sustrato durante el proceso de descomposición

Los valores de la temperatura obtenidos por la pulpa durante el proceso de descomposición en los montones previos a la inoculación de las lombrices se presenta en la Figura 20.

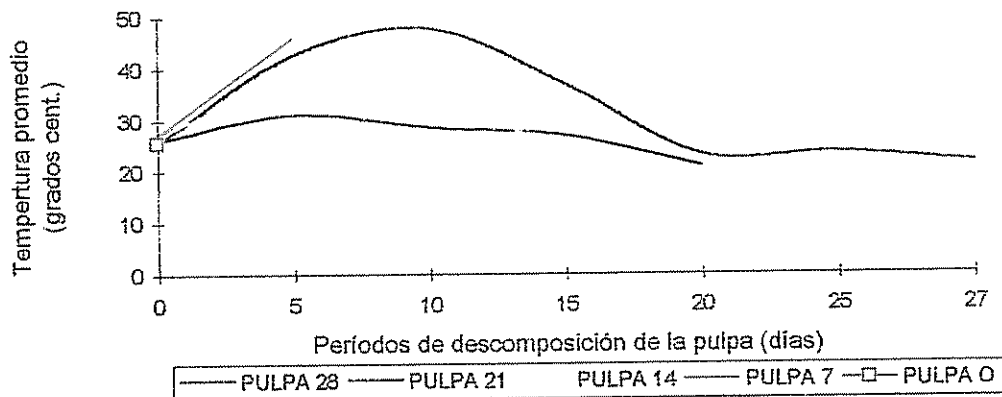


Figura 20. Variación de la temperatura para la pulpa con diferentes tiempos de descomposición.

Durante la descomposición de la pulpa la temperatura aumentó hasta llegar a los 50° C y disminuyó luego cuando se estabilizó el proceso de descomposición. La temperatura de la pulpa con 21 días de descomposición fue menor que el resto de las pulpas para las primeras semanas; como consecuencia, el proceso de descomposición de la pulpa no se realizó bien y pueden permanecer compuestos sin procesar, los cuales puedan afectar el desarrollo de las lombrices. Esto podría explicar el hecho de que los rendimientos de algunas variables medidas para esta pulpa, fuesen menores que para la pulpa con 14 días de descompuesta ya que el proceso de descomposición de esta pulpa no se desarrolló de la mejor forma.

6.1.4.5 Temperatura del sustrato durante la acción de las lombrices

En el Cuadro 24 se presentan los resultados correspondientes a las temperaturas medias de la pulpa en los recipientes, durante la acción de las lombrices por número de evaluación y periodos de descomposición de la pulpa.

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas para los PDP, evaluaciones y las interacciones densidad por evaluación y PDP por evaluación (Cuadro A. 8).

Cuadro 24. Temperaturas promedio de la pulpa con diferentes períodos de descomposición durante la acción de las lombrices para las fechas de conteo.

PDP	PRIMERA MEDICION	SEGUNDA MEDICION	TERCERA MEDICION	CUARTA MEDICION	QUINTA MEDICION	SEXTA MEDICION	SEPTIMA MEDICION
0 Días	24,80	20,92	22,87	20,32	21,03	20,25	18,68
7 Días	22,60	20,62	20,44	20,34	21,15	20,26	20,25
14 Días	22,98	21,08	22,63	20,73	21,33	20,33	18,32
21 Días	22,77	21,12	22,19	20,40	21,10	20,08	18,23
28 Días	22,46	21,13	21,70	20,88	21,32	20,36	18,43

Se observa una disminución de la temperatura en el tiempo para las

diferentes densidades y pulpas (Cuadro 24). Este comportamiento de la temperatura en las pulpas con diferentes períodos de descomposición, podría deberse a la labor de las lombrices. La lombrices durante su alimentación con la pulpa favorecen la aireación y la descomposición aeróbica, con la consecuente estabilización de su temperatura (Edwards, 1995). La pulpa de 0 días de descompuesta para la primera evaluación, tiene valores medios de temperatura más altos con respecto a las pulpas de 7, 14, 21 y 28 días, las cuales presentan valores medios de temperatura muy similares. Este incremento de la temperatura junto con las condiciones de fermentación que pueden favorecer la intoxicación de las lombrices, favorecieron la mortalidad de las lombrices en la pulpa con 0 días de descompuesta.

6.1.5 Análisis físico de la pulpa y el lombricompuesto

6.1.5.1 Densidad aparente de la pulpa

El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias estadísticas para los PDP (Cuadro A. 10). En el Cuadro 25 se presenta la comparación de medias de los diferentes estados de descomposición de la pulpa para la variable densidad aparente.

Cuadro 25. Resultados de la comparación de medias para la variable densidad aparente de la pulpa con diferentes estados de descomposición.

Factor de variación	Media (g/cm³)
Pulpa con 28 días de descomposición	0,1 ^a
Pulpa con 14 días de descomposición	0,09 ^b
Pulpa con 21 días de descomposición	0,08 ^b
Pulpa con 7 días de descomposición	0,06 ^c
Pulpa con 0 días de descomposición	0,04 ^d

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p= 0,05).

La pulpa con 28 días de descompuesta tuvo la media mayor y fue significativamente diferente a las pulpas con 0, 7, 14, y 21 días de descompuesta.

La densidad aparente menor corresponde a la pulpa con 0 días de descompuesta. Las pulpas con 14 y 21 días de descompuestas tienen una densidad aparente semejante. La densidad aparente de la pulpa aumenta con el tiempo de descomposición de la pulpa.

6.1.5.2 Densidad aparente del lombricompuesto

En el Cuadro 26 se presentan las medias de la densidad aparente del lombricompuesto en los diferentes períodos de descomposición de la pulpa y densidades. El análisis estadístico de esta variable mostró diferencias significativas por densidad y PDP (Cuadro A. 10).

Cuadro 26. Valores medios de densidad aparente del lombricompuesto en g/cm³ obtenidos en los tratamientos.

PDP	Densidad 100	Densidad 200	Densidad 300
0 Días	0,45	0,45	0,46
7 Días	0,33	0,34	0,34
14 Días	0,19	0,24	0,32
21 Días	0,19	0,19	0,24
28 Días	0,14	0,14	0,20

Los tratamientos con densidades de 300 lombrices tuvieron una media mayor, fueron semejantes a la densidad de 200 lombrices pero significativamente diferentes a la densidad de 100 lombrices (Cuadro 27).

Cuadro 27. Comparación de medias para la densidad aparente del lombricompuesto proveniente de las pulpas con diferentes períodos de descomposición y densidades de lombrices.

Factor de variación	Media (g/cm ³)
Pulpa con 0 días de descomposición	0,45 ^a
Pulpa con 7 días de descomposición	0,34 ^b
Pulpa con 14 días de descomposición	0,25 ^c
Pulpa con 21 días de descomposición	0,21 ^{cd}
Pulpa con 28 días de descomposición	0,16 ^d
Densidad de 300 lombrices	0,31 ^a
Densidad de 200 lombrices	0,27 ^{ab}
Densidad de 100 lombrices	0,26 ^b

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p = 0,05).

Las medias de la densidad aparente del lombricompuesto tuvieron el siguiente comportamiento: la pulpa 0 días de descomposición, con una media más alta, fue significativamente diferente de las pulpas 7, 14, 21 y 28 días de descompuesta. La pulpa 7 días obtuvo la segunda media y mostró diferencias significativas con respecto al resto de las pulpas. La densidad aparente de las pulpas 14 y 21 días son semejantes; de igual forma, las pulpas 21 y 28 días de descompuestas (Cuadro 27). Entre menos descompuesta esté la pulpa la densidad aparente del lombricompuesto es mayor.

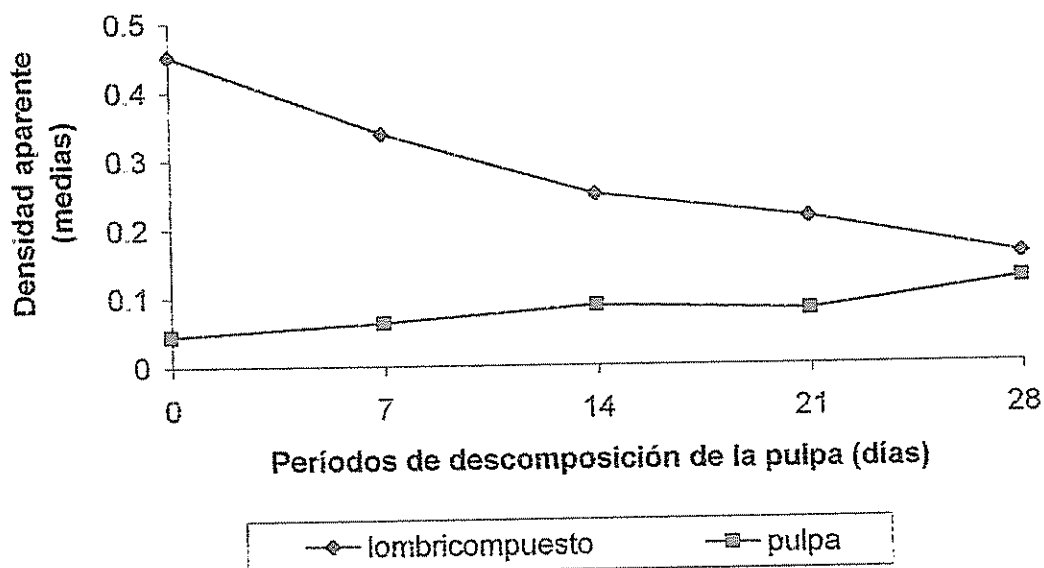


Figura 21. Variación de la densidad aparente en las pulpas con diferentes períodos de descomposición y del lombricompuesto producido en los tratamientos.

La Figura 21 muestra el comportamiento de la densidad aparente en la pulpa con diferentes períodos de descomposición, y la densidad aparente del lombricompuesto generado por las lombrices usando las pulpas iniciales. Comparando las densidades aparentes de las pulpas iniciales y el lombricompuesto generado por las lombrices de estas pulpas, se encontró un aumento de la densidad aparente en el lombricompuesto, con respecto a la pulpa

inicial. Sin embargo, dentro del lombricompuesto las pulpas 14, 21 y 28 días de descompuesta, donde sobrevivieron más lombrices, tuvieron una densidad aparente menor que pulpa 0 o 7 días donde murieron más lombrices.

6.1.6 Presencia de plagas visibles

Durante el experimento no se detectó alguna plaga que afectara a las lombrices.

6.2 FASE II

6.2.1 Producción de lombricompuesto

6.2.1.1 Porcentaje en peso y volumen de pulpa convertida a lombricompuesto según el método de alimentación

En los Cuadros 28 y 29 se presenta el porcentaje, en peso seco y volumen, de la pulpa que fue transformada a lombricompuesto en los diferentes métodos de alimentación. En todos los casos se utilizó pulpa con 28 días de descompuesta.

Cuadro 28. Porcentaje promedio de pulpa, con base en el peso seco que fue transformada a lombricompuesto en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	% Peso Seco				media
	rep I	rep II	rep III	rep IV	
Suministro gradual de sustrato	47,9	45,6	48,7	47,5	47,4 ^a
Suministro total de sustrato/ retiro total de lombricompuesto	37,2	36,5	40,0	34,3	36,9 ^b
Retiro gradual de lombricompuesto	32,0	29,0	24,0	30,0	28,7 ^c

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

El análisis estadístico mostró diferencias significativas para los tratamientos (Cuadro A.11). El tratamiento con la media mayor del porcentaje de conversión de pulpa a lombricompuesto, tanto en el porcentaje de peso seco como en el volumen, fue el tratamiento de alimentación en capas y el de menor media fue el

retiro gradual de lombricompuesto. Aunque se evaluó el efecto del peso inicial de la pulpa en cada canasta, como covariable del porcentaje de pulpa transformada, este efecto no fue estadísticamente significativo.

Cuadro 29. Porcentaje promedio del volumen de la pulpa que fue transformada a lombricompuesto en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	% De Volumen				media
	rep I	rep II	rep III	rep IV	
Suministro gradual de sustrato	35,5	34,7	34,4	34,2	39,3 ^a
Suministro total de sustrato/ retiro total de lombricompuesto	31,5	32,1	33,1	25,0	30,4 ^a
Retiro gradual de lombricompuesto	8,0	7,3	6,0	7,8	7,67 ^c

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey p = 0,05).

Las variaciones en los porcentajes de peso transformado en los tratamientos, podrían deberse a la pérdida de pulpa que se seca en la parte superior de las canastas y no es transformada por las lombrices porque está seca y la luz penetra molestando a las lombrices. En el tratamiento retiro gradual de lombricompuesto, cada vez que se retira el lombricompuesto se forma una nueva capa de pulpa seca y las lombrices no la transforman. En el tratamiento suministro total del sustrato y retiro total del lombricompuesto, la capa de pulpa seca se forma una sola vez, por lo que se pierde menos pulpa en comparación con el retiro gradual de lombricompuesto. En el tratamiento suministro gradual del lombricompuesto, la capa de pulpa seca que se forma sobre la superficie es cubierta por la nueva capa, lo que permite que se humedezca y sea consumida por las lombrices. Por lo tanto, el tratamiento suministro gradual del sustrato es el mejor método para obtener mayor lombricompuesto utilizando las canastas plásticas.

Al dividir los costos de los tratamientos por la producción del lombricompuesto, el tratamiento recolección gradual de lombricompuesto es el de mayor costo, aunque sea el tratamiento más rápido para producir el

lombricompuesto (Cuadro 31) y el tratamiento más barato es el suministro gradual del sustrato. Este último se perfila como el mejor tratamiento porque cuando se colocan las capas se tiene un mayor control de la cantidad de pulpa que se agrega, esto permite mantener un volumen mayor de pulpa, dando como resultado un volumen mayor de lombricompuesto. En los otros casos, el volumen inicial de la pulpa disminuyó en la canasta dejando un espacio, pero no se pudo colocar una capa de pulpa porque el tratamiento no lo permitió.

6.2.1.2 Número final de lombrices por tratamiento

En el Cuadro 30 se presentan los resultados del número final de las lombrices producidas por los diferentes tratamientos.

Cuadro 30. Número total de lombrices en los diferentes tratamientos al final del período de evaluación (El número inicial de lombrices inoculadas fue 1300 en todos los tratamientos).

Tratamientos	rep I	rep II	rep III	rep IV	media
Suministro total de sustrato/ retiro total de lombricompuesto	6862	5827	7390	7142	7459 ^a
Suministro gradual de sustrato	7202	8396	7838	6400	6805 ^a
Retiro gradual de lombricompuesto	3205	3069	3000	3930	3301 ^c

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.11). El tratamiento retiro gradual del lombricompuesto resultó tener la media menor de lombrices y fue significativamente diferente a los otros dos métodos de alimentación. Los tratamientos de suministro gradual del sustrato y suministro total de sustrato/retiro total de lombricompuesto, tuvieron medias similares de producción final de lombrices (Cuadro 30). La reducción en el número de lombrices del tratamiento retiro gradual del lombricompuesto, se debe al retiro de las cápsulas que se encuentran en la capa del lombricompuesto

y se pierden durante el secado, mientras que en los otros tratamientos los huevos se dejan eclosionar normalmente. Además, el tratamiento retiro gradual del lombricompuesto finalizó 12 días antes que los otros dos tratamientos, lo que afecta evidentemente el número final de lombrices. La reducción de 654 lombrices entre el tratamiento suministro gradual del sustrato y el suministro total del sustrato y retiro total del lombricompuesto, podría deberse al estrés que sufren las lombrices cuando se agregan nuevas capas de sustrato, porque obviamente tienen , en ese momento , características físicas, químicas y biológicas diferentes a las del sustrato del que se han estado alimentando.

6.2.1.3 Tiempo requerido para el procesamiento de la pulpa

En el Cuadro 31 se presentan los resultados del número de días necesarios por las lombrices, para procesar la pulpa de acuerdo con el método de alimentación evaluado.

Cuadro 31. Resultados de la comparación de medias para el número de días necesarios para procesar la pulpa, de acuerdo con los diferentes métodos de alimentación.

Tratamientos	Media (días)
Suministro gradual del sustrato	52,50 ^a
Suministro total de sustrato/ retiro total del lombricompuesto	52,25 ^a
Retiro gradual del lombricompuesto	40,75 ^b

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

El tiempo requerido por las lombrices para procesar la pulpa presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A. 11). El tratamiento de recolección gradual del lombricompuesto es el método más rápido y difiere significativamente de los otros dos métodos. Los métodos de alimentación, suministro total del sustrato/retiro total del lombricompuesto y suministro gradual del sustrato, no difieren significativamente entre ellos (Cuadro 31). Sin

embargo, si se compara el peso de lombricompuesto producido en los diferentes tratamientos con respecto al tiempo, el tratamiento suministro gradual del lombricompuesto produjo la misma cantidad de lombricompuesto que el tratamiento retiro gradual del lombricompuesto en solo 9,5 días.

En el tratamiento de alimentación por capas se logró un promedio de 6800 lombrices por caja, procesando 25 kg de pulpa húmeda (80% humedad) en 52,5 días y en un área de 0,15 m². El 41% (base húmeda) de esta pulpa se convirtió en lombricompuesto. Con este método se obtuvo un porcentaje de conversión pulpa-lombricompuesto mayor que los reportados por Dávila y Ramírez (1996) con pulpa de igual porcentaje de humedad, los cuales obtuvieron rendimientos de lombricompuesto en rangos de 35 a 40% base húmeda.

Este método podría procesar una tonelada de pulpa en 0,87 m² por año, lo cual da una idea del potencial para procesar que tienen las lombrices mediante el método de alimentación en capas utilizando las canastas. Estos rendimientos son mayores que los reportados por Galvis (1991) y Dávila y Ramírez (1996).

6.2.2 Presencia de plagas visibles

Se observó la presencia de hormigas del género *Solenopsis* sp en los tratamientos donde se bajó la humedad. Sin embargo, la presencia de las hormigas no afectó el desempeño de las lombrices.

VII CONCLUSIONES

- Los tratamientos afectaron la mortalidad de las lombrices; el porcentaje de mortalidad acumulado fue mayor en la pulpa con 0 días de descomposición (87,7) y en la pulpa con más de 7 días de descompuesta fue inferior al 10,5%. El porcentaje mayor acumulado de mortalidad ocurrió en la densidad de 100 lombrices (24,7%) y el menor en la densidad de 300 (19,6%). El porcentaje de mortalidad disminuyó en el tiempo (número de conteo).
- La mayor producción de cápsulas (697) se produjo con la densidad de 100 lombrices y con pulpa de 28 días de descompuesta, le siguió en orden descendente, la densidad 100 con pulpa de 21 días de descompuesta. En pulpa fresca (0 días de descompuesta) no se produjeron cápsulas.
- El número de lombrices juveniles también fue mayor en la densidad de 100 lombrices y pulpa con 28 días de descompuesta (83 individuos), aunque la interacción no fue estadísticamente significativa. Como factor individual la pulpa de 28 días de descompuesta produjo más lombrices juveniles (233 individuos), valor que fue estadísticamente diferente a los obtenidos por los otros PDP; para densidades no hubo diferencias.
- La densidad de las lombrices fue el factor más importante para determinar el incremento de la biomasa. El incremento fue mayor en la densidad de 100 lombrices y sus valores oscilaron entre 311 y 327 g, en las pulpas con más de siete días de descomposición.
- Para una mayor producción de lombricompuesto se requiere que la pulpa tenga más de 14 días de descomposición. Esta permite obtener porcentajes de peso seco de pulpa transformada a lombricompuesto superiores al 30%.
- La velocidad de procesamiento de la pulpa está relacionada con la densidad de lombrices, la densidad de 300 lombrices procesó la pulpa en 40 días y su media fue significativamente diferente de las otras dos densidades, indicando que a mayor densidad mayor velocidad de procesamiento.

- El lombricompostaje de la pulpa de café produjo abono orgánico de alto valor nutritivo, con contenidos promedio de nitrógeno entre 1,8 a 3,04%; potasio de 1,89 a 2,25%; materia orgánica de 47 a 68,3%, fósforo de 0,2%, Calcio de 0,9 a 1,0%, Magnesio de 0,4%, Cobre de 49 a 55 mg/kg, Manganeso de 232 a 299 mg/kg y Zinc de 27 a 52 mg/kg.
- La relación C/N del lombricompuesto varió entre 12 y 18, y fue menor que los obtenidos en la pulpas con diferentes períodos de descomposición (15 a 25), lo que evidencia que el proceso de lombricompostaje de la pulpa fue satisfactorio.
- El lombricompostaje de la pulpa de café neutralizó el pH de esta.
- Hubo un aumento en la densidad aparente del lombricompuesto, con rangos entre 0,2 a 0,5 g/cm³, en relación con la densidad aparente de la pulpa, en los diferentes períodos de descomposición utilizada, cuyos rangos fueron de 0,04 a 0,1 g/cm³.
- En general la temperatura del sustrato aumentó durante los primeros 10 días de descomposición, luego disminuyó estabilizándose a partir de los 20 días. En el caso del lombricompuesto la temperatura tendió a disminuir con el paso del tiempo, debido a la aireación provocada por las lombrices.
- El uso de lombrices como método para procesar pulpa de café en canastas plásticas (28,5 cm de altura), mostró tener el potencial de procesar 1,2 ton de pulpa fresca con 28 días de descomposición, al año, en un metro cuadrado, utilizando una densidad inicial de 8880 lombrices/ m².
- Existen diferencias entre los métodos de alimentación, porque se encontraron variaciones significativas en la producción de lombricompuesto, 7,5, 29 y 41 kilogramos promedio en los tratamientos, número de lombrices, 3301, 6805 y 7459 individuos promedio por tratamiento y tiempo para procesar, 40,8, 52,2 y 52,5 días por tratamiento
- El mejor método de alimentación, utilizando canastas plásticas por su rendimiento de lombricompuesto(47,4% base seca) y por la producción de lombrices, fue el método de suministro gradual del sustrato.

VIII RECOMENDACIONES

- Continuar los estudios sobre producción de lombricompuesto a partir de pulpa de café y promover la utilización de esta práctica entre los agricultores y beneficiadores.
- Validar a nivel de finca, usando las canastas plásticas, el procesamiento de la pulpa con más de 14 días de descompuesta y utilizando densidades de lombrices entre 100 y 200 lombrices por 4200 ml (24000 y 48000 individuos por m³).
- Se recomienda como sistema de suministro de la pulpa de café a las lombrices, capas de 20 cm de espesor.
- Usar canastas plásticas para la producción de lombricompuesto, ya que permite un mejor uso del espacio físico, fácil manejo, evitan contacto directo con el suelo, reduciendo el peligro del ataque de plagas.

IX BIBLIOGRAFIA

- ABBOTT, I.; PARKER, C.A. 1980. The occurrence of earthworms in the wheat-belt off Western Australian in relation to land use and rainfall. *Australian Journal of Soil Research* 18 (3):345-352.
- ALFARO, M; RODRIGUEZ, J. 1994. Impacto ambiental del procesamiento del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2): 214-225.
- ANDERSEN, C. 1980. The influence of climatic conditions on activity and vertical distribution of earthworms in Danish arable soil. s.l., The Royal Veterinary and Agricultural University. p. 57-68 .
- ARANDA, E. 1988. La utilización de lombrices en la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)* no. 27: 21-23
- _____ 1991. El vermicompostaje: una nueva alternativa para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. *In* Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (14, 1991, Panamá). Memoria. Honduras, IICA-PROMECAFE. p. 511-579 .
- _____ 1992. El manejo de lombrices para la producción de abono orgánico de pulpa de café. *In* Simposio sobre Caficultura Latinoamericana(15, 1992, México). Memoria. Honduras, IICA-PROMECAFE. p. irr.
- _____ 1995. Lombricompostaje de residuos orgánicos. *In* Curso Taller sobre Agricultura Orgánica(1, 1995, Xalapa, Veracruz). Memoria. México. p. 69-79.
- ARANGO, J.; CORREA, H. 1992. Informe anual proyecto ecológico de manejo de desechos con lombricultura y biodigestor. Bogotá, Colombia. 33 p.
- ARISTIZABAL, C.; MONTOYA, E. 1991. La lombriz de tierra como alternativa en la transformación de la pulpa de café. Tesis Ing. Zoot. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 77 p.
- AOAC. 1970. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC. 55p
- ASTON, R. 1988. The case for temperature control in vermiculture. *In* Earthworms in waste and environmentat management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p.135-143

- BERMEJO, F. 1963. Tratado de química analítica cuantitativa. Santiago de Compostela, 1258 p.
- BUTT, K.; FREDERICKSON, J.; MORRIS, R. 1992. The intensive production of *Lumbricus terrestris* L. for soils amelioration. *Soil Biology and Biochemistry* 24 (12): 1321-1325.
- CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO. 1996. Lombricultura resguardando el medio ambiente. Ecuador. 18 p.
- CLUZEAU, D.; FAYOLLE, L.; HUBERT, M. 1992. The adaptation value of reproductive strategy and mode in three epigeos earthworm species. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12):1309-1315.
- COMPAGNONI, L. 1988. Cría moderna de las lombrices. Ed. De Vecchi, Barcelona. España. 123 p.
- COTO, J.M. 1992. Contaminación del agua en Costa Rica por residuos del procesamientos del café y de la porcicultura. In Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Santiago, Chile, FAO. p. 124-133.
- DAVILA, M.; RAMIREZ, C. 1996. Lombricultura en pulpa de café. Avances técnicos Cenicafé. 225 Caldas, Colombia. 11 p.
- DOMINGUEZ, A. 1992. Lombricultura establecimiento y cría de la lombriz roja californiana. Colombia, Corporación Autónoma Regional del Cauca. 28 p.
- DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C. 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biology and Biochemistry* 29(3/4): 743-746.
- EDWARDS, C. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic waste by earthworms. In Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 21-31
- EDWARDS, C. 1995. Historical overview of vermicomposting. *BioCycle*. Junio 1995. 56-58

- EDWARDS, C.; BURROWS, I. 1988. The potential of earthworm compost as plant growth media. In Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 211-219
- EDWARDS, C.; BATER, J. 1992. The use of earthworms in environmental management. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12):1683-1692.
- EDWARDS, C.; FLETCHER, K. 1988. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 24:235-247.
- ENGELSTAD, F. 1991. Impact of earthworms on decomposition of garden refuse. *Biology and Fertility of Soils* 12:137-140.
- ESCOBAR, G. 1992. *Lombricultura*. Colombia, s.e. 37 p.
- ENRIQUEZ, G.; LOPEZ, A. 1997. Manejo integrado de los residuos agroindustriales en Costa Rica. In xviii simposio latinoamericano de caficultura. Memoria Costa Rica, ICAFE IICA/PROMECAFE. p. 461-470.
- FERRUZZI, C. 1994. *Manual de lombricultura*, Madrid, Mundi Prensa. 138 p.
- FREDERICKSON, J.; KNIGHT, D. 1988. The use of anaerobically digested cattle solids for vermiculture. In Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser editores. The Netherlands. Academic Publishing. p. 33-47
- GALVIS, L. 1991. La Caja Agraria y la lombricultura. In Seminario Internacional de Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera (2, 1991, Manizales, Col.). Resúmenes. Manizales, Colombia, ORSTOM-CENICAFE. p. irr.
- GIRON, I.; LOBATO, S.; MONTOYA, G. 1997. Estudio de la factibilidad técnica para la producción de abono orgánico a partir de la descomposición de residuos orgánicos de mercado y pulpa de café, utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. 157 p.
- HAND, P.; HAYES, W.; SATCHELL, J.; FRANKLAND, J. 1988. The vermicomposting of cow slurry. In Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 49-63

- HALLATT, L.; VILJOEN, S; REINECKE, A. 1992. Moisture requirements in the life cycle of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Soil Biology and Biochemistry* 24 (12):1333-1340.
- HERNANDEZ, J. 1994. Lombricultura. Una alternativa para la producción de compost. Universidad Nacional Autónoma, Costa Rica. Boletín Agrario No. 50. 17 p.
- HOLDRIGE, S.J. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica IICA. 206p.
- HUHTA, V.; HAIMI, J. 1988. Reproduction and biomass of *Eisenia foetida* in domestic waste. *In Earthworms in waste and environmental management*. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 49-63
- INSTITUTO DEL CAFE DE C.R. 1995. Café declarado por los beneficiadores en la cosecha 1994-1995. San José, Costa Rica. 12 p.
- _____. 1995. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Comp. Gilberto Rojas C., Sandra Camacho R., Edgar Rojas R. San José, C. R. 127 p.
- KAPLAN, D.; HARTENSTEIN, R.; NEUHAUSER, E.; MELECKI, M. 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology and Biochemistry* 12:347-352.
- LAL, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. London, Wiley. 731 p.
- LAVELLE, P. 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils* 6:237-251.
- LAVELLE, P.; BAROIS, I. 1988. Potential use of earthworms in tropical soils. *In Earthworms in waste and environmental management*. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 273-279
- LEE, K.E. 1985. Earthworms their ecology and relationships with soil and land use. Orlando, Florida, Academic Press. 416 p.
- LEON, S.; VILLALOBOS, G.; FRAILE, J.; GONZALES, N. 1992. Cultivo de lombrices *Eisenia foetida* utilizando compost y excreta de animales. *Agronomía Costarricense* 16(1): 23-28.

- LOEHR, R.; MARTIN, J.; NEUHAUSER, E. 1988. Stabilization of liquid municipal sludge using earthworms. *In* Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 95-110
- LONGO, A. 1987. Minhoca de fertilizadora do solo a fonte alimentar. San Pablo, Brasil, Ed. Icone. 79p.
- MARTINEZ, C. 1996. Potencial de la lombricultura, elementos básicos para su desarrollo. Mexico. 140 p.
- MONTERO, M. 1992. Elaboración de biabono (abono orgánico) a partir de pulpa de café. *In* Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (15,1992, México). Memoria. Honduras, IICA-PROMECAFE. p. irr.
- MORGAN, M. 1988. The role of micro-organisms in the nutrition of *Eisenia foetida*. *In* Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p 71-82
- MOTALIB RIDA, A. 1984 Los gusanos de tierra y el medio ambiente. Mundo Científico 146(14): 1-4
- NEUGEBAUER, B. 1993 Agri-cultura ecológicamente apropiada. Alemania,ZEL. 159 p.
- NEUHAUSER, E.; LOEHR, R.; MALECKI, M. 1988. The potential of earthworms for managing sewage sludge. *In* Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 9-20
- OROZCO, F.; CEGARRA, J.; TRUJILLO, L.; ROIG, A. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils* 22(1/2):162-166.
- PAUL, E.; CLARK, F. 1996. Soil biology and biochemistry. 2 de Academic Press. Inc. 340p.
- PEREZ, L. 1992. La lombriz de tierra, potencial y perspectivas de su producción. Colombia, e.p. 16-33. Presentado en : III Symposium de especies animales subutilizadas.

- _____. 1993. Pautas para el manejo y utilización del humus de lombriz. Ed. Barinas, Colombia, e.p. 25-30. Presentado en: IV Symposium de especies animales subutilizadas.
- PHILLIPS, V. 1988. Engineering problems in the breakdown of animal wastes by earthworms. *In* Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 111-118
- REEH, U. 1992. Influence of population densities on growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei* on pig manure. *Soil Biology and Biochemistry* 24 (12):1327-1331.
- REINECKE, A.; VILJOEN, S.; SAAYMAN, R. 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Eisenia fetida* (oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12):1295-1307.
- RIDDLE, D. 1997. Vermicomposting in the Carolinas. *Biocycle*. January 1997: 71-72.
- RIVEROS, J. 1994. Cultivo de lombriz roja californiana *Eisenia foetida* para el manejo de desechos orgánicos en la finca "Lomitas de calaima", Colombia. Trabajo de graduación Ing. Agron. Guápiles, EARTH. 42 p.
- RODRIGUEZ, F.; VELASQUEZ, G.; CHAMORO, C.; MARTINES, N. 1992. Adaptación de la lumbricultura en la zona cafetalera de Alban Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana* No. 7-8: 91-109
- SABINE, J. 1988. Vermiculture: Bring on the future. *In* Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 3-5
- SCOTT, M. 1988. The use of worm-digested animal waste as a supplement to peat in loamless composts for hardy nursery stock. *In* Earthworms in waste and environmental management. Eds. Clive Edwards y Edward Neuhauser. The Netherlands. Academic Publishing. p. 221-224
- SHANTI, N.; BHOYAR, R.; BHIDE, A. 1993. Vermicomposting of vegetable waste. *Compost Science & Utilization* 1(4):27-30.
- TINEO, A. 1994. Crianza y manejo de lombrices de tierra con fines agrícolas. Turrialba, Costa Rica., CATIE/RENARM/Manejo de Cuencas. 32 p.

- TISDELL, C. 1991. Economics of environmental conservation, economics for environmental & ecological management. 3 ed. Amsterdam, ELSEVIER 232 p.
- TIWARI, S.; MISHRA, R. 1993. Fungal abundance and diversity in earthworm casts and in uningested soil. *Biology and Fertility of Soils* 16: 131-134.
- TORRES, M.M. 1995. Características químicas y biológicas en suelos bajo pasturas de *Brachiaria brizanta* sola o en asocio con *Arachis pintoi* después de cuatro años de pastoreo en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 98 p.
- TRUJILLO, J.; VARGAS, A. 1991. Cultivo de la lombríz roja californiana en cuatro desechos orgánicos. Tesis Ing. Agr. Caldas, Colombia, Universidad de Caldas. 197 p.
- VINCELAS-AKPA, M.; LOQUET, M. 1997. Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (*Eisenia fetida andrei*): chemical analysis and ¹³C CPMAS NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry* 29 (3/4):751-758.
- WERNER, M.; CUEVAS, J. 1996. Working with worms vermiculture in Cuba. *BioCycle* June 1996: 57-62
- WU, N. 1995. Composting coffee pulp in El Salvador. *BioCycle* November 1995: 82-83
- ZULUAGA, J. 1989. Utilización integral de los subproductos del café. In Seminario Internacional sobre Biotecnología en Agroindustria Cafetalera(1, 1989, México). Comps. S. Rousus; R. Licono; M. Gutiérrez. México, INMECAFE/UAM-I ORSTOM. p. 63-76.

X ANEXOS

CUADRO A.1. Resultado de la prueba de F para las variables de la biomasa.

Variable	Valor de F	Pr > F
Mortalidad	4,69	0,0001**
Densidad	5,61	0,0069**
PDP	42,60	0,0001**
Densidad x PDP	1,21	0,3160
Número de conteo	48,91	0,0001**
PDP x Número de conteo	7,68	0,0001**
densi x Número de conteo	0,70	0,5964
PDP x densi x Número de conteo	0,98	0,4885
Cápsulas	22,28	0,0001**
Densidad	28,30	0,0001**
PDP	138,01	0,0001**
Densidad x PDP	4,05	0,0012**
Número de conteo	337,26	0,0001**
Densidad x Número de conteo	11,38	0,0001**
PDP x Número de conteo	46,31	0,0001**
Densidad x PDP x Número de conteo	3,27	0,0002**
Juveniles	6,44	0,0001**
Densidad	7,28	0,0019**
PDP	8,22	0,0001**
Densidad x PDP	0,94	0,4950
Número de conteo	130,50	0,0001**
Densidad x Número de conteo	5,36	0,0006**
PDP x Número de conteo	7,96	0,0001**
PDP x densi x Número de conteo	1,12	0,3482

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A.2. Resultado de la comparación de medias para el porcentaje de mortalidad de lombrices.

Factor de variación	Media de mortalidad (%)
Densidad de 100 lombrices	9,1 ^a
Densidad de 200 lombrices	7,0 ^b
Densidad de 300 lombrices	6,1 ^c
Pulpa con 0 días de descompuesta	30,0 ^a
Pulpa con 7 días de descompuesta	3,4 ^b
Pulpa con 14 días de descompuesta	2,3 ^b
Pulpa con 21 días de descompuesta	0,8 ^b
Pulpa con 28 días de descompuesta	0,4 ^b
Primer conteo	15,9 ^a
Segundo conteo	5,2 ^b
Tercer conteo	1,1 ^c

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p = 0,05$).

CUADRO A.3. Resultados de la comparación de medias para la producción de cápsulas.

Factor de variación	Media (No.)
Densidad de 100 lombrices	152,2 ^a
Densidad de 200 lombrices	75,9 ^b
Densidad de 300 lombrices	70,3 ^b
Pulpa con 28 días de descompuesta	284,7 ^a
Pulpa con 14 días de descompuesta	101,5 ^b
Pulpa con 21 días de descompuesta	84,6 ^b
Pulpa con 7 días de descompuesta	26,4 ^c
Pulpa con 0 días de descompuesta	0,0 ^c
Primer conteo	0,0 ^c
Segundo conteo	91,2 ^b
Tercer conteo	207,1 ^a

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p= 0,05$).

CUADRO A. 4. Resultados de la comparación de medias para la producción de lombrices juveniles.

Factor de variación	Media (No)
Densidad de 300 lombrices	8,0 ^a
Densidad de 100 lombrices	6,9 ^a
Densidad de 200 lombrices	6,1 ^a
Pulpa con 28 días de descompuesta	18,5 ^a
Pulpa con 14 días de descompuesta	6,2 ^b
Pulpa con 7 días de descompuesta	5,2 ^b
Pulpa con 21 días de descompuesta	3,4 ^b
Pulpa con 0 días de descompuesta	1,7 ^b
Primer conteo	0,0 ^b
Segundo conteo	5,5 ^b
Tercer conteo	15,5 ^a

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey $p= 0,05$).

CUADRO A. 5. Resultado de la prueba de F para la variable biomasa (peso fresco) de las lombrices.

Variable	Valor de F	Pr > F
Incremento peso de las lombrices	17,00	0,0001**
Densidad	108,16	0,0001**
PDP	9,44	0,0001**
Densidad x PDP	4,32	0,0007**

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A. 6. Resultado de la prueba de F para las variables utilizadas para determinar la producción de lombricomposteo por tratamientos.

Variable	Valor de F	Pr > F
Porcentaje de peso de PDP convertido	7,95	0,0001**
Densidad	2,49	0,0951
PDP	14,38	0,0001**
Densidad x PDP	1,53	0,1779
peso inicial	0,80	0,3750
Porcentaje del volumen de PDP convertido	38,38	0,0001**
Densidad	18,28	0,0001**
PDP	11,34	0,0001**
Densidad x PDP	5,63	0,0001**
peso inicial	9,69	0,0034**

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A. 7. Resultado de la prueba de F para la variable días necesarios para procesar la Pulpa.

Variable	Valor de F	Pr > F
Días para procesar la Pulpa en los recipientes	2,06	0,0292**
Densidad	6,89	0,0026**
PDP	2,05	0,1048
Densidad x PDP	1,11	0,3742

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A. 8. Resultado de la prueba de F para las variables del análisis químico.

Variable	Valor de F	Pr > F
Calcio	0,67	0,8787
Magnesio	3,47	0,0541
Cobre	1,55	0,2759
Manganeso	2,16	0,1551
Potasio	7,46	0,0061**
Densidad	0,59	0,5756
PDP	10,89	0,0025**
Nitrógeno	41,88	0,0001**
Densidad	4,39	0,0517
PDP	60,63	0,0001**
Zinc	25,04	0,0001**
Densidad	0,55	0,5974
PDP	37,29	0,0001**
Materia orgánica	14,72	0,0006**
Densidad	3,28	0,0910
PDP	20,44	0,0003**
Temperatura	44,47	0,0001**
Densidad	0,36	0,7005
PDP	13,06	0,0001**
Densidad x PDP	0,59	0,7803
Número de conteo	995,35	0,0001**
Número de conteo x Densidad	3,30	0,0002**
Número de conteo x PDP	15,11	0,0001**
Número de conteo x Densidad x PDP	1,0	0,4784

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A. 9. Resultado de la prueba de F para la variable pH.

Variable	Valor de F	Pr > F
pH de la Pulpa	26,69	0,0001**
PDP	39,93	0,0001**
pH del lombricompuesto	83,07	0,0001**
Densidad	5,17	0,0098**
PDP	346,76	0,0001**
Densidad x PDP	0,87	0,5457

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A. 10. Resultado de la prueba de F para las variables del análisis físico.

Variable	Valor de F	Pr > F
Densidad aparente de la Pulpa	50,44	0,0001**
Pulpa	100,38	0,0001**
Densidad aparente del lombricompuesto	11,14	0,0001**
Densidad	4,21	0,0216**
Pulpa	42,89	0,0001**
Densidad x Pulpa	0,77	0,6278

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

CUADRO A. 11. Resultado de la prueba de F para las variables de la fase II.

Variable	Valor de F	Pr > F
Número de lombrices final	12,15	0,0043**
Bloques	0,1	0,9556
Tratamientos	30,22	0,0007**
Días para procesar Pulpa	53,90	0,0001**
Bloques	1,55	0,2958
Tratamientos	132,43	0,0001**
Porcentaje de volumen convertido a lombricompuesto	19,00	0,0027**
Bloques	0,71	0,5818
Tratamientos	6,08	0,0458**
Porcentaje de peso convertido a lombricompuesto	20,18	0,0023**
Bloques	0,29	0,8307
Tratamientos	20,36	0,0040**

Valores con ** presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)