

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE TRES TIEMPOS DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES URBANOS BAJO DOS DENSIDADES EN LA ALIMENTACIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida* L.), PARA LA PRODUCCIÓN DE LOMBRIABONO.

**POR:**

CARLOS ERNESTO BLANCO LÒPEZ

NOÈ DAVID LINARES BRIZUELA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2015



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE TRES TIEMPOS DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES URBANOS BAJO DOS DENSIDADES EN LA ALIMENTACIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida* L.), PARA LA PRODUCCIÓN DE LOMBRIABONO.

**POR:**

CARLOS ERNESTO BLANCO LÓPEZ  
NOË DAVID LINARES BRIZUELA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



EVALUACIÓN DE TRES TIEMPOS DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS VEGETALES URBANOS BAJO DOS DENSIDADES EN LA ALIMENTACIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida* L.), PARA LA PRODUCCIÓN DE LOMBRIABONO.

**POR:**

CARLOS ERNESTO BLANCO LÓPEZ  
NOÈ DAVID LINARES BRIZUELA

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2015

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO.

**SECRETARIA GENERAL:**

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA.

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. AGR. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA.

**SECRETARIO:**

ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO.

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA.**

---

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA.

**DOCENTE DIRECTOR.**

---

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO.

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN.**

---

ING. AGR. MARIO ANTONIO BERMÚDEZ MÁRQUEZ.

## RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Movimiento de Agricultura Orgánica de El Salvador (MAOES), en las siguientes fases: recolección de materia prima para el compostaje, proceso de compostaje, distribución del alimento compostado en las diferentes cajas y determinación de pH, análisis químico, recolección de datos y análisis estadístico de las variables, durante diez meses, iniciando el mes de septiembre de 2012 y finalizando en junio de 2013. Se evaluaron 3 tiempos de compostaje de residuos vegetales urbanos en combinación con 2 densidades de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* L.); los seis tratamientos quedaron definidos de la siguiente forma: T1 (tiempo de compostaje de una semana y densidad de 300 lombrices); T2 (tiempo de compostaje de 2 semanas y densidad de 300 lombrices); T3 (tiempo de compostaje de 3 semanas y densidad de 300 lombrices); T4 (tiempo de compostaje de 1 semana y densidad de 600 lombrices); T5 (tiempo de compostaje de 2 semanas y densidad de 600 lombrices); T6 (tiempo de compostaje de 3 semanas y densidad de 600 lombrices).

Se llevo a cabo en un ambiente semi-controlado y diseño simple completamente al azar con arreglo bifactorial 3X2, alimentando a las lombrices con residuos vegetales urbanos, determinando el tiempo de compostaje y la densidad de siembra en la cual se logró mayor producción y mejor calidad química del abono; se evaluó la mortalidad y progenie de la lombriz (*Eisenia foetida* L.) en respuesta a los tratamientos y la rentabilidad de la implementación del proyecto mediante el análisis económico.

Para el análisis de los datos se aplico un arreglo bifactorial 3x2 bajo un diseño simple completo al azar; cuando los resultados mostraron diferencias estadísticas, se realizo la prueba de contrastes ortogonales con nivel de significancia del 5%, apoyándose para ello del programa estadístico INFOSTAT; mientras que para el análisis económico se aplico el método propuesto por CIMIT (Centro de Mejoramiento Maíz y Trigo), presentando estadísticamente los mejores efectos el tratamiento 3 en producción de abono y 3 y 6 en mayor densidad de lombrices.

Palabras Clave: Lombricultura, lombriabono, compostaje, residuos vegetales.

## AGRADECIMEINTOS

Primeramente a Dios, creador de todo lo que respira y dador de dones y aptitudes, por prestarme vida e inteligencia para alcanzar este logro; a mi Bella Madre Natividad de Mercedes Ramírez López, que con gran esfuerzo, apoyo incondicional, ejemplo y amor me enseñó y me sigue enseñando a luchar por lo que quiero y a vivir la vida, impulsándome y creyendo que soy capaz de lograr lo que me proponga; A mi hijo: Carlos David Blanco, quien es la fuente de inspiración para seguir estudiando y a quien quiero mucho; A mi hermana y Cuñado: Ana Patricia Acevedo de Corcio y Rolando Corcio Campos quienes me apoyaron albergándome en el seno de su familia; A mis Abuelos maternos: Blas Ramírez y Antonia López por el apoyo brindado y siempre estar pendientes de mí. A Don Luis Armando Barrera, por el apoyo brindado en el transcurso de mi preparación; a la familia Carrillo quien ha sido especial en mi vida. A mis tíos y tías, primos y primas; a mi sobrino: Ricardo Corcio a quien veo como mi propio hijo y también como mi amigo.

Agradezco a las personas e instituciones involucradas en el desarrollo de este trabajo de graduación:

A la **Universidad de El Salvador** que a través de nuestra Facultad de Ciencias Agronómicas, me albergó en sus instalaciones y permitió aprender de las apasionantes Ciencias Agrícolas, por brindarme las herramientas necesarias para enfrentar la realidad nacional y ser agente de cambio para un mejor futuro. Así mismo agradecer de igual manera al **Movimiento de Agricultura Orgánica de El Salvador (MAOES)**, que gracias al apoyo prestado por su Presidente **Miguel Ramírez** hicimos uso de las instalaciones de dicho movimiento para instalar nuestro ensayo.

Agradecimiento especial al Ing. Mario Alfredo Pérez Ascencio por el apoyo incondicional en toda la realización del proyecto de investigación, sus asesorías y consejos.

A mi amigo Ing. Mauricio Tejada, que es casi como mi hermano mayor, por sus consejos, confianza, apoyo incondicional y su amistad brinda a lo largo de toda mi formación profesional, a los buenos amigos que hice durante todos mis años de estudio, con los cuales compartí derrotas y victorias: Tania Barillas, César Echegoyen, Noé Linares, Héctor Gutiérrez, Ing. Manuel Vicente, Ing. Jairo Vigil.

A los amigos con los que crecí y me eduque en la calle y que aún seguimos aprendiendo y departiendo: Noé Osorio (Burro), William Avilés (Manyula), Oswaldo Rubio (Waldo), Saúl Galdámez (Pool), Javier Solís (Siete), Rolando Castro (Pixy), Walter Martínez (Sara), Sara Iraheta, Víctor Aguilar, Roberto Aguilar (Chupi), Félix Cerón (Chipi), Jaime Cerón (Pátula), José Cerón (Tiri) y otros que por cuestión de espacio no los logro mencionar; a todos ustedes gracias por enseñarme muchas cosas de la vida.

A mi amigo, hermano y compañero de tesis Noé David Linares Brizuela, por permitirme trabajar a su lado, brindarme su amistad y conocimientos.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agronómicas por colaborar con mi formación académica, en especial a Carlos Guillermo Castillo; A los profesores de la Facultad de Ciencias Agronómicas por transmitirme sus conocimientos y ser parte importante de mi grado obtenido.

Agradezco al Laboratorio de Suelos del CENTA, los cuales nos brindaron su apoyo en la realización de los análisis de laboratorio.

El listado de agradecimientos es amplísimo... Finalmente agradezco a todas y cada una de las personas que no creyeron en mí y a las que me hicieron derramar lágrimas de dolor, desprecio y amor, me dejaron una enseñanza y con ello me volví más fuerte, a todos ellos espero también les sea de utilidad este trabajo; el presente sea de beneficio para las futuras generaciones.

**A DIOS SEA LA GLORIA**

**Carlos E. Blanco López**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Luis Edgardo Linares y Dora Alicia Brizuela que con su trabajo y esfuerzo se dedicaron en la tarea de que concluyera el camino emprendido.

A mis amigos y hermanos Cesar Echegoyen, Carlos Blanco, Tania Barillas, Jairo Sánchez, Cindy López, Héctor Gutiérrez, Manuel Mendoza y Mauricio Tejada quienes además fueron compañeros y maestros durante el caminar con ellos todo tiene más sentido.

De una forma muy especial a Maria de los Ángeles Villanueva madre de mi amigo le agradezco su apoyo que de forma desinteresada siempre tuvo para mí.

Agradecer a quienes apoyaron y permitieron el satisfactorio desarrollo de esta; Miguel Ramírez a través de MAOES y Raúl Arauz coordinador de Pastoral de la Tierra (Arzobispado de San Salvador), y el asesor de la investigación el ing. Mario Pérez Ascencio docente de la Universidad de El Salvador.

Y especialmente al carpintero que nunca se cansó martillo en mano y mucho fuego en estar presente a través de mis amigos como Hugo Évora (perro loco) y Oscar Pérez... GRACIAS....

**NOE DAVID LINARES**

## DEDICATORIAS

Nuevas son tus misericordias cada mañana

Dedico este logro a mi Madre, Natividad de Mercedes Ramírez López.

Mamá: Te doy las gracias porque eres mi mayor apoyo después de nuestro Dios, gracias por ser mi amiga en quien yo siempre he podido confiar, por fungir como padre y madre, agradezco también tus consejos y regaños, sin ellos no estuviera donde estoy ahora. Gracias por presionarme para que siguiese estudiando, de no ser por la presión que me ejerciste sería lo que un día te dije quería ser (Un Vago). Gracias mamá por esforzarte para darme la educación que tú no tuviste, siempre inculcaste en mí principios y valores morales y espirituales para ser un mejor ciudadano. Eres el mejor ejemplo de humildad que día tras día me enseña que debo ser como tú y que debo tender la mano a mi prójimo cada vez que lo necesite.

Te amo mamá, eres mi héroe!!!

Esto lo dedico al pueblo salvadoreño, pueblo heroico!

A mi tierra bella, con sus ríos, lagos y volcanes en los que son guardadas muchas historias de amor, guerra y justicia. A esos 20,742 km<sup>2</sup> de tierra sagrada y su linda gente...

A los amigos con los que crecí y me eduque en la calle y que aún seguimos aprendiendo y departiendo: Noé Osorio (Burro), William Avilés (Manyula), Oswaldo Rubio (Waldo), Saúl Galdámez (Pool), Javier Solís (Siete), Rolando Castro (Pixy), Walter Martínez (Sara), Sara Iraheta, Félix Cerón (Chipi), Jaime Cerón (Pátula), José Cerón (Tiri) y otros que por cuestión de espacio no los logro mencionar, a todos ustedes gracias por enseñarme muchas cosas de la vida.

A mi amigo Ing. Mauricio Tejada, que es como mi hermano mayor, por sus consejos, confianza, apoyo incondicional y su amistad brindada a lo largo de toda mi formación profesional.

A los excelentes amigos que hice durante mis años de universidad, con los cuales compartí derrotas y victorias: Tania Barillas, César Echevoyen, Noé Linares, Héctor Gutiérrez, Ing. Manuel Vicente, Ing. Jairo Vigil.

Por ultimo quiero agradecerle a la base de todo, a la Roca Eterna, al Dios todo poderoso. Gracias Señor por tu inmensa misericordia, por hacer resplandecer tu rostro sobre mí y mi familia. Por colmarme de bendiciones a diario, por la familia que me has dado, por los amigos y también por los enemigos, ya que son ellos los que me ayudan a ser mejor cada día.

Dijo:

Jehová es mi roca y mi fortaleza, y mi libertador...

2do Libro de Samuel 22:2-51

Carlos E. Blanco López

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta sencilla investigación pero rodeada de interesantes eventos a mi madre Dora Alicia Brizuela y mi padre Luis Edgardo Linares porque a través de su dedicación se concluye este capítulo.

**NOE DAVID LINARES**

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMEN.....                                                                                                              | iv        |
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                                                      | v         |
| DEDICATORIAS.....                                                                                                         | viii      |
| <b>I. INTRODUCCION.....</b>                                                                                               | <b>1</b>  |
| <b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                                                    | <b>3</b>  |
| <b>2.1. Lombricultura.....</b>                                                                                            | <b>3</b>  |
| <b>2.2. Clasificación taxonomica de (<i>Eisenia foetida</i> L.).....</b>                                                  | <b>3</b>  |
| <b>2.2.1. Taxonomía.....</b>                                                                                              | <b>3</b>  |
| <b>2.3. Características morfológicas y fisiológicas.....</b>                                                              | <b>3</b>  |
| <b>2.4. Ciclo biológico de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i> L.).....</b>                              | <b>10</b> |
| <b>2.5. Aspectos generales de la producción y manejo de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i> L.).....</b> | <b>11</b> |
| <b>2.5.1. Manejo de lombricultivo.....</b>                                                                                | <b>13</b> |
| <b>2.5.2. Tipos de sustratos para la alimentación de lombrices.....</b>                                                   | <b>14</b> |
| <b>2.5.4. Frecuencia y cantidad de alimento proporcionado.....</b>                                                        | <b>16</b> |
| <b>2.5.5. Necesidades de humedad y frecuencia de riego.....</b>                                                           | <b>16</b> |
| <b>2.5.6. Enemigos naturales.....</b>                                                                                     | <b>16</b> |
| <b>2.5.7. Escalas de Producción de lombricultivo.....</b>                                                                 | <b>17</b> |
| <b>2.5.8. Productos de la lombricultura.....</b>                                                                          | <b>18</b> |
| <b>2.5.9. Características químicas del humus o Vermiabono.....</b>                                                        | <b>19</b> |
| <b>2.6. Aspectos generales del compostaje.....</b>                                                                        | <b>19</b> |
| <b>2.6.1. Ventajas del compostaje.....</b>                                                                                | <b>20</b> |
| <b>2.6.2. Beneficios del uso del compost.....</b>                                                                         | <b>20</b> |
| <b>2.6.3. Materiales de partida para el proceso de compostaje.....</b>                                                    | <b>22</b> |
| <b>2.6.4. Proceso de compostaje.....</b>                                                                                  | <b>23</b> |
| <b>2.6.5. Principales parámetros de control en el proceso de compostaje.....</b>                                          | <b>24</b> |
| <b>2.6.6. Aspectos microbiológicos del compostaje.....</b>                                                                | <b>28</b> |
| <b>2.6.7. Sistemas de Compostaje.....</b>                                                                                 | <b>29</b> |
| <b>2.6.8. En pilas o montones dinámicos.....</b>                                                                          | <b>29</b> |
| <b>2.6.10. En reactores o contenedores.....</b>                                                                           | <b>29</b> |
| <b>2.6.11. Operaciones de Compostaje.....</b>                                                                             | <b>30</b> |

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.12. Operaciones primarias. ....                                                                                     | 30        |
| <b>3. Fundamentos teóricos. ....</b>                                                                                    | <b>35</b> |
| 3.1. Antecedentes. ....                                                                                                 | 35        |
| <b>III. MATERIALES Y METODOS. ....</b>                                                                                  | <b>41</b> |
| 3.1.1. Recolección del material. ....                                                                                   | 42        |
| 3.1.2. Proceso de compostaje. ....                                                                                      | 42        |
| 3.1.3. Distribución de alimento compostado en las cajas con las densidades de 300 y 600 lombrices respectivamente. .... | 43        |
| 3.1.4. Determinación de pH. ....                                                                                        | 43        |
| <b>3.2. METODOLOGIA DE LABORATORIO. ....</b>                                                                            | <b>43</b> |
| 3.2.2. Determinación de humedad por el método gravimétrico. ....                                                        | 43        |
| Procedimiento. ....                                                                                                     | 44        |
| Cálculos. ....                                                                                                          | 44        |
| 3.2.2. Material y Equipo de laboratorio. ....                                                                           | 45        |
| <b>3.4. METODOLOGIA ECONOMICA. ....</b>                                                                                 | <b>48</b> |
| 4.1.1. Evaluación de la Producción de lombriabono. ....                                                                 | 50        |
| 4.1.6. Análisis químico. ....                                                                                           | 57        |
| 4.2. Evaluación de variables físicas. ....                                                                              | 59        |
| 4.2.1. Temperaturas del sustrato. ....                                                                                  | 59        |
| 4.2.2. Análisis de la humedad del sustrato ofrecido a las lombrices. ....                                               | 61        |
| <b>V. ANALISIS ECONOMICO. ....</b>                                                                                      | <b>65</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES. ....</b>                                                                                           | <b>66</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES. ....</b>                                                                                       | <b>67</b> |
| <b>VIII. BIBLIOGRAFIA. ....</b>                                                                                         | <b>68</b> |

## INDICE DE CUADROS

### Casos

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Cuadro 1. Resultados del análisis químico de muestras de estiércol bovino y conejo. ....</b>                          | <b>40</b> |
| <b>Cuadro 10. Promedios de población de lombrices por tratamiento.....</b>                                               | <b>53</b> |
| <b>Cuadro 11. Prueba de contrastes para el factor tiempo.....</b>                                                        | <b>54</b> |
| <b>Cuadro 12. Prueba de contrastes para la variable densidad de población de lombrices. ....</b>                         | <b>54</b> |
| <b>Cuadro 13. Análisis de contenido químico de Lombriabono.....</b>                                                      | <b>58</b> |
| <b>Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable temperatura del sustrato.....</b>                                    | <b>60</b> |
| <b>Cuadro 16. Análisis de varianza para la humedad del sustrato ofrecido. ....</b>                                       | <b>61</b> |
| <b>Cuadro 17. Análisis de varianza para pH en sustrato. ....</b>                                                         | <b>63</b> |
| <b>Cuadro 18. Presupuesto parcial y beneficios netos.....</b>                                                            | <b>65</b> |
| <b>Cuadro 2. Contenido mineral del abono producido por <i>Eisenia foetida</i> a los 90 días del cultivo. ....</b>        | <b>40</b> |
| <b>Cuadro 3. Parámetros físico-químicos medidos de 3 sustratos utilizados para la elaboración de lombricompost. ....</b> | <b>41</b> |
| <b>Cuadro 4. Humedad contenida en frutas y hortalizas. ....</b>                                                          | <b>41</b> |
| <b>Cuadro 5. Tratamientos en estudio.....</b>                                                                            | <b>47</b> |
| <b>Cuadro 6. Tabla de resultados para elaboración de análisis estadísticos y descriptivos.....</b>                       | <b>50</b> |
| <b>Cuadro 7. Análisis de ANVA de la cantidad de lombriabono.....</b>                                                     | <b>51</b> |
| <b>Cuadro 8. Promedios de producción de lombriabono de la interacción tiempo y densidad.....</b>                         | <b>52</b> |
| <b>Cuadro 9. Análisis de varianza para la densidad de población lombrices.....</b>                                       | <b>53</b> |

## INDICE DE FIGURAS

F

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Anatomía de Lombriz de Tierra .....                                                                                         | 4  |
| <b>Figura 10. pH del sustrato previo a la alimentación.....</b>                                                                              | 63 |
| <b>Figura 2.</b> Ciclo reproductivo de <i>Eisenia foetida</i> . .....                                                                        | 11 |
| <b>Figura 3.</b> Etapas del compostaje.....                                                                                                  | 26 |
| <b>Figura 4.</b> Plano de campo del experimento.....                                                                                         | 46 |
| <b>Figura 5. Promedios de producción de abono en kilogramos de acuerdo a los tres tiempos de compostaje y dos densidades de siembra.....</b> | 52 |
| <b>Figura 6. Promedio de lombrices de acuerdo a tiempo de descomposición y sustrato.....</b>                                                 | 55 |
| <b>Figura 7. Relación de reproducción a la siembra de 300 lombrices. ....</b>                                                                | 55 |
| <b>Figura 8. Relación de reproducción a la siembra de 600 lombrices .....</b>                                                                | 56 |
| <b>Figura 9. Temperaturas del sustrato previo a la alimentación.....</b>                                                                     | 60 |

## INDICE DE ANEXOS

### Contenido de cuadros anexos

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Anexo Cuadro A-1. Hoja de resultados de análisis químicos..... | 73 |
| Anexo Cuadro A-2. Relación beneficio costo.....                | 78 |
| Anexo cuadro A-3. Tabla de ANVA.....                           | 79 |

### Figuras anexas

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A-1. Cubetas plásticas utilizadas para el compostaje de residuos vegetales urbanos..... | 74 |
| Figuras A-2. Conteo de lombrices.....                                                          | 74 |
| Figura A-3. Residuos transformados por las lombrices.....                                      | 75 |
| Figura A-4. Acumulación de lombrices bajo desechos de su preferencia.....                      | 75 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A-5. Toma de temperatura del sustrato previo a la alimentación.....                                      | 76 |
| Figura A-6. Producción de lixiviado.....                                                                        | 76 |
| Figura A-7. Medición de pH previo a la alimentación.....                                                        | 77 |
| Figura A-8. Proceso de preparación de muestras para la determinación de humedad por el método gravimétrico..... | 77 |
| Figura A-9. Proceso de pesaje de muestras secas.....                                                            | 78 |

## I. INTRODUCCION

El crecimiento poblacional en el último siglo ha aumentado de manera significativa a nivel mundial, generándose concentración principalmente en las ciudades o zonas urbanas; lo cual produce una presión mayor y desgaste en los recursos naturales. Este fenómeno ha generado pobreza y escases de recursos en los lugares de mayor concentración y en nuestro país la situación no es diferente, la migración del campo a la ciudad es evidente desde hace varios años, ocasionando otros problemas como la generación de desechos sólidos y la mala deposición de estos; además de la escases de alimentos en familias de escasos recursos.

Ante esta situación se planteó el manejo de desechos vegetales mediante la técnica de lombricultura, donde a través del previo compostaje de los desechos vegetales, estos son ofrecidos a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida L*) para que sean procesados y transformados mediante su aparato digestivo en producto llamado lombriabono, vermiabono o humus de lombriz, donde se define la lombricultura como la técnica para la transformación de los residuos sólidos orgánicos por medio de la lombriz de tierra. Esta técnica permite aprovechar toda la materia orgánica de las basuras orgánicas, estiércol animal y residuos orgánicos industriales (Cacciamani, 2004).

Bajo este enfoque el manejo y tratamiento de los desechos sólidos es uno de los muchos problemas que aquejan a los consejos municipales nacionales, ya que dicha problemática genera altos costos económicos; la empresa Manejo Integral de Desechos Sólidos para El Salvador (MIDES), cobra a las alcaldías por la deposición de los desechos sólidos en el relleno sanitario de Nejapa una cantidad de \$18.00 USD por tonelada. La ciudad de San Salvador produce un aproximado de 1,312.88 toneladas de basura diarias; esto significa que la comuna capitalina mensualmente eroga una cantidad de \$708,955.20 USD por el manejo de los desechos, (ECOTRANS, 2006).

La lombricultura es un control efectivo y económico de los contaminantes sólidos orgánicos, para lograr dicha afirmación esta tecnología utiliza especies de lombrices que son capaces de vivir en cautiverio en acumulaciones de materia orgánica sin escaparse del cultivo. De las 8000 especies de lombrices reportadas en el mundo, solo unas pocas se adaptan a estas condiciones. Las especies más utilizadas son: *Eisenia foetida L.* (Roja californiana), *Eudrilos eugeniae* (Roja africana), *Eisenia andrei* y *Perionyx ecavatus* (Alas Rosales y Alvarenga Hernández, 2002).

Este estudio pretendió dar respuesta a la hipótesis que alimentando a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* L.) con desechos vegetales compostados por tres semanas se produciría un mejor rendimiento y calidad nutricional del abono, lo cual se comprobó mediante pruebas estadísticas, las que permitieron verificar dicha hipótesis; también mediante los respectivos análisis químicos se determinó la calidad nutricional que posee el abono que se produjo y se realizó un análisis económico para determinar los costos que genera esta actividad dentro del concepto urbano y encontrar una alternativa viable para el manejo de los desechos sólidos orgánicos a nivel municipal y domiciliar, que ayude a disminuir la contaminación ambiental y los costos por manejo de estos; esperando que las unidades ambientales de las alcaldías lo retomen como una práctica permanente.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1. Lombricultura.

Se define como la técnica para la transformación de los residuos sólidos orgánicos por medio de la lombriz de tierra. Esta técnica permite aprovechar toda la materia orgánica de las basuras orgánicas, estiércol animal, residuos orgánicos industriales (Cacciamani, 2004).

La lombricultura es un control efectivo y económico de los contaminantes sólidos orgánicos, para lograr dicha afirmación esta tecnología utiliza especies de lombrices que son capaces de vivir en cautiverio en acumulaciones de materia orgánica sin escaparse del cultivo. De las 8000 especies de lombrices reportadas en el mundo, solo unas pocas se adaptan a estas condiciones. Las especies más utilizadas son: *Eisenia foetida* L. (Roja californiana), *Eudrilos Eugeniae* (Roja africana), *Eisenia andrei* y *Perionyx ecavatus* (Alas Rosales, Alvarenga Hernández, 2002).

### 2.2. Clasificación taxonomica de (*Eisenia foetida* L.).

#### 2.2.1. Taxonomía.

Reino: Animal.

Subreino: Metazoos

Phylum: Protostomia

Clase: Annelida

Orden: Oligochaeta

Familia: Lumbricidae

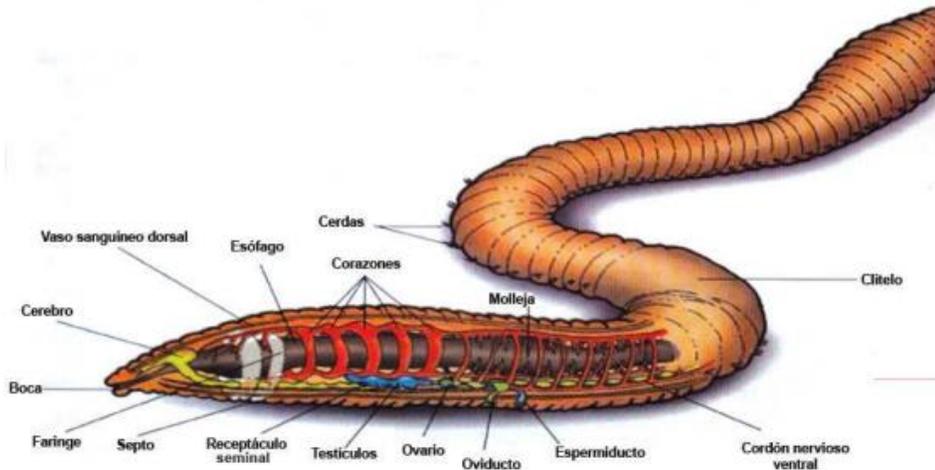
Género: *Eisenia*

Especie: *foetida*

(Alas Rosales, Alvarenga Hernández, 2002)

### 2.3. Características morfológicas y fisiológicas.

La lombriz es un animal alargado, de cuerpo cilíndrico y anillado; su longitud varía dependiendo de la especie. Su cuerpo está revestido por una fina cutícula que lo protege de la desecación (Figura 1).



**Figura 1.** Superficie anteroventral de la lombriz de tierra.

**Figura 1:** Anatomía de Lombriz de Tierra

Aguilera López, 2004; Citado por López Torres, 2012.

**Color:** *Eisenia foetida L.* Tiene un color rojizo intenso, razón por la cual se le conoce con el nombre de Roja Californiana, el color no siempre lo determina el pigmento en la piel de la lombriz, sino a veces la sangre o el contenido del intestino.

**Tamaño y peso:** La lombriz californiana adulta mide aproximadamente de 8 a 10 cm de largo, de 3 a 5 mm de diámetro y pesa entre 0.8 a 1 gramo.

**Forma:** El cuerpo de las lombrices tiene una forma cilíndrica, pero pueden existir secciones cuadrangulares, la sección posterior puede ser achatada, la superficie dorsal surcada a lo largo.

**Segmentos:** Llamadas también metámeros, son los anillos que conforman el cuerpo de la lombriz.

**Surcos intersegmentarios:** Son surcos con forma de anillos, los cuales se encuentran entre segmentos sucesivos y se pueden reconocer en la pared del cuerpo de la lombriz por el menor espesor del epitelio e intervención de la musculatura circular.

**Prostomio:** Es una pequeña protuberancia dorsal que comienza en el primer segmento del cual está separado por un surco, existen 5 tipos principales de prostomio: Prolóxico, proepilóxico, epilóxico abierto, epilóxico cerrado y tanilóxico.

**Peristomio:** Es el primer segmento, envuelve la boca y no tiene quetas o cerdas, su superficie es lisa y está recorrida por numerosos surcos longitudinales.

**Quetas o cerdas:** Son estructuras primariamente locomotoras formadas en invaginaciones de la piel. Es uno de los principales caracteres taxonómicos externos. Están presentes a partir del segundo segmento y ausentes en la última porción del cuerpo, la cual no se enumera como segmentos, el Pigidio.

**Poros dorsales:** Son pequeñas aberturas ubicadas en los surcos intersegmentarios a lo largo de la línea media dorsal. Son difíciles de observar.

**Metridioporos:** Son aberturas excretoras presentes a lo largo del cuerpo de la lombriz, un par en cada segmento.

**Poros espermatecales:** Raramente ausentes, en general ubicados en algunos surcos intersegmentarios pre-clitelaes.

**Poros femeninos:** En general ubicados en el segmento 14.

**Poros masculinos:** Son las aberturas de los canales que transportan el semen. En general hay un par ubicado después de los poros femeninos.

**Surcos seminales:** Es un par de surcos transitorios formados durante la cópula y van desde los poros masculinos hasta el clitelo (Cacciamani, 2004).

**Clitelo:** Es un anillo más ancho y de color blanquecino situado en la parte anterior de la lombriz, presente en todas las lombrices adultas. Se encarga de secretar la sustancia que forma los capullos, cocones o cápsula donde se alojan los huevos. Puede tener una forma anular, es decir que envuelve completamente los segmentos en los cuales se encuentran o tienen la forma de una silla de montar cuando no envuelve la parte ventral de los segmentos.

**Pared del cuerpo:** Está cubierta por un peritoneo delgado y liso, entre las fibras musculares circulares hay células pigmentarias, tejido conjuntivo y capilares sanguíneos. No hay esqueleto.

**Tabiques:** También llamados septos, son las paredes que separan los segmentos sucesivos que están formados por el peritoneo, una de las capas de la pared de lombriz. Se denotan con fracciones, es decir, el tabique o septo 9/10 es el que separa los segmentos 9 y 10. En general no se encuentran en los primeros segmentos.

**Esófago:** Es recto y alargado, en el cual desembocan tres glándulas calcíferas.

**Glándulas de Moren:** Son las que se encargan del metabolismo del calcio cuando existen, están ubicadas en el esófago.

**Intestino:** Se puede reconocer gracias a la transición brusca con el esófago y muchas veces por la presencia de válvulas.

**Corazones:** Son asas pares, contraídas situadas en la región esofágica del cuerpo, ligando los bazo dorsal y supra-intestinal con el ventral. Pueden ser de tres tipos: corazones laterales, son los que se ligan directamente al bazo dorsal con el ventral; corazones intestinales o esofágicos, cuando existen son los que conectan directamente el bazo supra-intestinal con el ventral; corazones latero intestinales o latero esofágico, cuando existen son los que ligan los bazo dorsal y el supra-intestinal con el ventral.

### **Sistema digestivo.**

El aparato digestivo de la lombriz es de forma tubular y recto, con una abertura anterior en la boca y una posterior en el ano. Entre el tubo digestivo y la pared del cuerpo se forma una cavidad llamada celoma. Esta cavidad se encuentra dividida simétricamente en cada segmento, en dos compartimientos, en cuyo interior circula el líquido celómico que junto con la sangre transporta el alimento, los desechos y los gases respiratorios dentro del cuerpo de la lombriz.

Las glándulas calcíferas, son las encargadas de segregar carbonato de calcio, y tienen la propiedad de neutralizar los ácidos de los alimentos si la acidez es muy elevada no puede neutralizarlos y pueden morir intoxicadas de “goso ácido”.

El alimento es masticado en la molleja, luego pasa al intestino en donde las grasas, proteínas y carbohidratos son atacados por diferentes enzimas digestivas (Clark, 2000).

Una vez que el alimento ha llegado al esófago pasa al buche, molleja, al estómago y de ahí al intestino, donde actúan enzimas desdoblado los alimentos en sustancias más simples; las deyecciones salen a través del ano enriquecidas por microorganismos propios de su flora bacteriana que es del orden de  $4 \times 10^6$  colonias de bacterias por gramo de humus activo. Las lombrices diariamente consumen una cantidad de alimento equivalente a su peso corporal (Cacciamani, 2004).

### **Aparato circulatorio.**

La sangre circula en el cuerpo de la lombriz en los bazos localizados a lo largo de ella, tiene hemoglobina por lo que es de color rojo (Castillo, sf).

Entre los segmentos VII y IX se conectan los bazos dorsal y ventral, a través de cinco pares de tubos musculares, los corazones, que se encargan de enviar la sangre hacia la parte posterior de la lombriz por medio del bazo ventral. En el bazo dorsal, sobre el tubo digestivo, circula la sangre hacia delante, ésta circulación dorsal toma alimento de los senos y capilares del intestino y lo llevan hacia la parte anterior del cuerpo.

El bazo ventral distribuye la sangre lateralmente y hacia fuera en cada segmento, alimentando los nefridios y la pared del cuerpo de la lombriz; la sangre regresa al bazo dorsal utilizando los bazos segmentarios eferentes y el bazo parietal. Los bazos neurales transportan parte de la sangre recién oxigenada en los bazos parietales hacia el bazo dorsal. Mediante este sistema se absorbe las sustancias alimenticias de los intestinos, se liberan los residuos solubles de los riñones, se transporta el oxígeno a todo el cuerpo por medio de la sangre y se libera gas carbónico a través de la piel (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2002).

### **Sistema respiratorio.**

El intercambio gaseoso se lleva a cabo en la superficie del cuerpo de la lombriz. El extremo posterior del cuerpo ondea rítmicamente para ventilar su superficie.

Cuando le falta oxígeno, la lombriz saca al exterior una parte mayor de su extremo posterior y aumenta la frecuencia de sus movimientos de ventilación. La lombriz absorbe oxígeno y anhídrico carbónico a través de una red fina de capilares ubicados cerca de la cutícula.

La cutícula se mantiene húmeda constantemente, lo cual posibilita el intercambio de gases (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2002).

### **Aparato neuro sensorial.**

Las lombrices de tierra carecen de ojos, en su lugar existe en la piel células fotosensibles, las cuales les permite reaccionar frente a la luz, evitándola, ya que expuesta a ellas muere en pocos minutos. Existen más células fotosensibles en el prostomio y en los segmentos anteriores que en las otras partes del cuerpo.

En la epidermis se encuentra el sentido del tacto que se centra en las terminaciones nerviosas y en las células neuro sensoriales, que le permite a la lombriz percibir vibraciones las cuales les provoca estrés.

En la epidermis, hay también nervios especializados en reaccionar solo al pH.

También existen órganos gustativos que permiten distinguir entre diferentes tipos de alimento. La Temperatura es otro de los impulsos que la lombriz puede percibir a través de su aparato neuro sensorial (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2002).

### **Sistema reproductor.**

Una de las características de las lombrices que las hace especialmente propicias para una reproducción intensiva, es la de ser hermafrodita, cada individuo posee órgano reproductor masculino y femenino; sin embargo la lombriz es hermafrodita incompleta, ya que no puede auto fecundarse y requiere de la participación de otro individuo para reproducirse (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2002).

### **Sistema reproductor masculino.**

Está formado por dos pares de testículos, localizados entre los segmentos 9 y 10, cuya función es la de reproducir espermatozoides. Estos últimos se depositan en unos sacos voluminosos conocidos como vesículas seminales (2 pares) en la que los espermatozoides terminan su desarrollo.

Durante la cópula, el semen depositado en las vesículas es transportado por unos conductos deferentes, los cuales se prolongan más atrás hasta terminar en los poros masculinos. Cuentan también con receptáculos seminales o espermatecas que son unos sacos que reciben el semen de otra lombriz durante la cópula, están ubicados entre los segmentos 9 y 10 (Tineo, 1994).

### **Sistema reproductor femenino.**

Está formado por dos pares de ovarios, ubicados entre los segmentos 13 y 14, cuya finalidad es la de producir óvulos, los cuales se depositan en ovisacos.

Durante el desarrollo de la fecundación los óvulos salen de los conductos denominados oviductos hasta los poros femeninos que son aberturas de la pared del cuerpo por donde son expulsados (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2002).

### **Sistema excretor**

Posee un par de *nefridios* por segmentos que son unos simples tubitos por donde se eliminan las sustancias de desecho al exterior a través de unos poros que se les denomina poros nefridiosporos. Estos se comunican con unos embudos ciliados que atraen las sustancias de desechos contenidas en el líquido celomático provenientes de la pared del cuerpo y el tubo digestivo. Mediante este sistema se realiza la filtración, reabsorción y secreción (Tineo, 1994).

### **Sistema nervioso**

Está representado por un par de *ganglios cerebroides* que se encuentran por encima del esófago. Existen dos conectivos que rodean la faringe y comunican con los ganglios subfaringeos bilobulados, desde aquí sale el cordón nervioso ventral que se extiende por la parte ventral del celoma hasta el último somito que corresponde al ano.

Cada somito se presenta un ganglio derivado de este, desde el cual emergen tres pares de nervios laterales de donde salen las fibras sensitivas y las fibras motoras. Estas controlan los movimientos musculares en sus varias funciones, además de recibir las sensaciones luminosas y de tacto que orientan a la lombriz (Díaz *et al.* 2009).

**Órganos de los sentidos:** Poseen papilas táctiles, fosetas ciliadas, células fotosensibles subcutáneas, las cuales no permiten la visión, pero si perciben la luz.

Las lombrices son animales fotosensibles y sus taxismos, dentro de otras cosas, corresponde a su respuesta a la luz, de la que huyen, prefiriendo el hábitat oscuro. A este taxismo se le denomina fototaxismo negativo. La exposición de las lombrices a la luz natural es letal, solo admiten esta exposición muy pocos minutos. Las lombrices también pueden moverse en busca de sus alimentos verticalmente hacia arriba y también bajan verticalmente para cambiar de un pH ácido a muy básico, para refugiarse en el humus buscando la humedad óptima en el fondo del substrato evitando la incidencia de los rayos solares en las horas más críticas, que provocan el recalentamiento de los canteros y su desecación en la parte superior (Peña Turruella, E. *et al*, 2002).

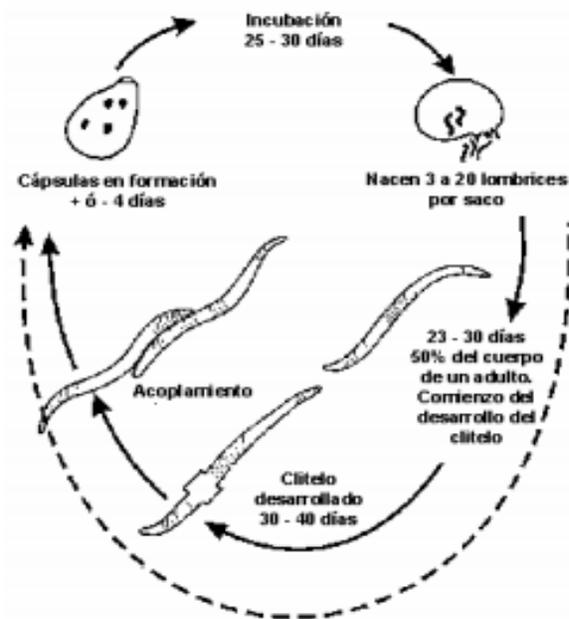
**Sistema locomotor:** Intervienen los músculos, el líquido celómico y las quetas.

Cuando la lombriz quiere avanzar apoya las quetas en el substrato y el líquido celómico ayudado por los músculos se dirige hacia delante, la parte posterior del cuerpo del animal se acorta avanzando de esta forma, entonces, se retiran las quetas, seguidamente el líquido celómico se desplaza hacia detrás estirándose el cuerpo y comienza de nuevo este movimiento lo que le permite avanzar (Peña Turruella, E. *et al*, 2002).

**Sistema de Reproducción:** La presencia de Clitelo confirma la madurez sexual, ya que el Clitelo tipifica el estadio adulto. El apareamiento es un acto instintivo, en el mismo las lombrices se entrelazan estrechamente en posición invertida haciendo coincidir ambos clitelos, quedando en contacto el poro genital masculino en el femenino e intercambiando el material espermático. Al separarse cada individuo por sí solo efectúa la liberación de cápsulas (Peña Turruella, E. *et al*, 2002).

#### **2.4. Ciclo biológico de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* L.).**

El acoplamiento de dos lombrices se efectúa en un intervalo no menor de 7 días entre uno y otro acoplamiento, del cual se obtienen 2 capullos o cocones, uno por cada lombriz fertilizada. Si las condiciones del medio en cuanto a humedad de 55% a 75 %y temperatura se mantiene entre 18 – 27 grados centígrados, entre los 25 y 30 días ocurre el nacimiento de las pequeñas lombrices que puede variar de 3 a 20 lombrices por saco o cocón; para luego desarrollarse a un estado adulto y reproductivo de 32 a 40 días. (Figura 2)



**Figura 2.** Ciclo reproductivo de *Eisenia foetida L.*

**Fuente:** Aguilera López, 2004, Citado por López Torres, 2012.

Las lombrices recién nacidas tienen color rosado pálido translúcido, son capaces de alimentarse por sí mismas, siendo parecidas a sus progenitores, solo varían en tamaño y color. Paulatinamente se van oscureciendo en el transcurso del tiempo. A los 90 días de nacidas, las lombrices son adultas lo cual se conoce por la aparición del Clitelo, en este momento como se ha dicho comienza su ciclo sexual (Peña Turruella, *et al*, 2002).

## **2.5. Aspectos generales de la producción y manejo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida L.*)**

**Ubicación:** la producción de lombrices puede ser ubicada en cualquier parte, siendo preferiblemente en un lugar de fácil acceso para operaciones de riego, distribución de alimento, lugar con ventilación adecuada y lejos de fuentes directas de calor y de frío (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2002).

**Temperatura:** la temperatura considerada óptima para el desarrollo de las lombrices, oscila entre 18° a 25°C (su temperatura corporal es de 19-20°C).

Cuando la temperatura desciende por debajo de 15°C las lombrices entran en un período de latencia, disminuyendo su actividad. Van dejando de reproducirse y crecer, y los espermátóforos no eclosionan hasta que se presentan condiciones favorables. Temperaturas por encima de los 35°-40°C o por debajo de los 4°C le resultan mortales para el animal. (Ferruzi, 1987).

**Humedad:** la humedad y la alimentación se consideran como los factores más importantes para las lombrices, estos animales no tienen un mecanismo de conservación de agua adecuada, no obstante que requieren de humedad en la pared corporal para su respiración y pierden mucha agua en la orina, sin embargo resisten la pérdida de agua de hasta un 75% como mecanismo de defensa; ante la falta de humedad, la lombriz reduce al máximo su superficie corporal, El agua también es importante en su sistema locomotor, ya que la presión hidráulica del líquido celomático no se da si el contenido de agua del cuerpo se reduce en más de 15%, la lombriz posee el 80 y 90% de su peso vivo. (Cerdas, C. 1996).

**pH:** el pH óptimo que debe tener el sustrato para la crianza de las lombrices se encuentra entre el neutro o ligeramente alcalino, con un rango que puede variar entre 4.5 a 8. Esto se puede lograr midiendo el pH del alimento que será dado a las lombrices utilizando papel tornasol o un peachimetro (Díaz *et al.* 2009).

**Luz:** en la naturaleza, las lombrices de tierra se desplazan por las praderas a través de los túneles subterráneos alejados de luz que excavan, buscando las zonas húmedas. Por eso, en periodos de lluvia intensa, es frecuente encontrarlas debajo de las piedras etc. La lombriz de tierra es fotofobia (huye de la luz del sol), pues los rayos ultravioleta las matan en pocos segundos.

Poseen unos sensores en la epidermis, que les ayudan a detectar la procedencia de la luz y huir de ella a otro lado; la luz directa del sol aumenta la temperatura del medio, llegando a alcanzar temperaturas mortales si la lombriz no tiene posibilidad de huir (Cerdas, 1996).

### **2.5.1. Manejo de lombricultivo.**

Por manejo del lombricultivo se entiende todas aquellas actividades que se llevan a cabo para lograr en el menor tiempo posible la mejor conversión de los desechos utilizados como alimento de la lombriz, así como también el manejo de las condiciones ambientales para lograr un mayor crecimiento del pie de cría utilizado (Cristales, 2000).

#### **Pie de cría.**

Denominamos pie de cría a la cantidad de lombrices necesarias en cuanto a peso, o en cuanto a número que nos permite efectuar una siembra y nos facilite obtener una población de lombrices fuertes para ser cultivadas, teniendo en cuenta el material acompañante (sustrato) que le sirve de hábitat y alimento.

La velocidad de transformación del sustrato depende de la cantidad de lombrices; Cuando se desea un proceso rápido, la densidad de lombrices debe de ser alta, alrededor de 4 a 5 Kg. de lombriz por metro cuadrado (Cristales 2000). También la cantidad indicada para desarrollar un buen lombricompost es de 15000 a 20000 lombrices por m<sup>3</sup>.

#### **Densidad de la población.**

Se define como la cantidad de individuos presentes por unidad de área. La densidad de población de un cultivo de lombrices puede llegar a su clímax por unidad de área cuando las condiciones para su desarrollo son óptimas, o sea, cuando encuentran todos los requerimientos nutricionales para su desarrollo. Cuando en un área pequeña hay alta densidad de población los alimentos comienzan a escasear y el espacio vital se reduce dominando los individuos más fuertes y mejor adaptados, en estos casos se puede observar migraciones de las poblaciones adultas, escasez de huevos y abundante presencia de juveniles en el cultivo, entre otros fenómenos.

El número de lombrices por área se determina mediante la toma de muestra de población, para lo cual se realiza un muestreo utilizando un monolito, que es un instrumento utilizado para extraer la cantidad indicada de sustrato, con él podemos extraer un bloque del material a muestrear de la profundidad de 0 - 10 cm con un área de 20 x 20 cm (400 cm<sup>2</sup>) luego se realiza un conteo manual de lombrices y así se estima el número de lombrices contenida en el área total al extrapolar datos, además se puede realizar un conteo manual pero en una población grande esto demanda de mucho tiempo y se vuelve impráctico. (Schuldt, 2007).

## 2.5.2. Tipos de sustratos para la alimentación de lombrices.

**Alimentación:** la calidad del alimento proporcionado es de gran importancia para lograr el éxito en la crianza de lombrices, si el alimento proporcionado es de óptima calidad, se asegura la rápida producción del pie de cría y la transformación del sustrato, aumentando con ello el desarrollo y cantidad de lombrices en un corto tiempo.

Los materiales utilizados como alimento para las lombrices deben tener las siguientes características:

- a) Materia orgánica biodegradable.
- b) No contener sustancias tóxicas como ácido en el caso de la gallinaza, plaguicidas, etc.

La base de la alimentación de las lombrices se conoce como sustrato, el cual se coloca en el lecho y estas lo transforman en humus. Independientemente de cuál sea la sustancia orgánica que se desee utilizar ésta debe de tener un contenido en celulosa no inferior a un 20-25%, en forma de paja triturada, papel o cartón. El sustrato además de contener el material celulósico debe poseer vitaminas y minerales esenciales para asegurar un adecuado crecimiento a las lombrices. Según el clima, el espesor del sustrato básico varía pudiendo llegar hasta 50 cm. Los sustratos que más se utilizan son los estiércoles; sin embargo, los estiércoles de aves, en general no son aconsejables, debido a su fuerte acidez producida en el período de maduración (Tineo, 1994).

A continuación se describen algunas características de los sustratos más comúnmente utilizados para la alimentación de las lombrices (Clark, 2000).

**Estiércol de bovino:** es muy bueno, utilizable también como sustrato inicial y como alimento durante la producción, el período mínimo aconsejable de envejecimiento es de 6 meses, pero es más fácil encontrarse con un pH adecuado, cuando este período ha sido de 7 meses. El estiércol de bovino contiene 1.42% de nitrógeno, 0.18% de fósforo, 4% de potasio y 0.262% de manganeso (Cervantes, 2003).

**Estiércol de conejo:** constituye un alimento óptimo; si lo recoge debajo de las jaulas de los conejos, tiene que ser tratado y oxigenado antes de poder ser suministrado, debido a su peculiar estructura, se presenta como una masa compacta que carece casi totalmente de aire y oxígeno, constituyendo un sustrato donde las lombrices que necesitan estos dos elementos, no pueden sobrevivir. El estiércol de conejo contiene 2.6% de nitrógeno, 3.1% de fósforo y 3.2 % de potasio (Cristales, 2000).

**Estiércol de cabra:** es un producto bastante bueno pero difícil de conseguir. Normalmente este estiércol se presenta en forma de bolitas endurecidas y se puede suministrar de esta forma siempre y cuando tenga la humedad adecuada.

Los valores nutritivos de este estiércol son: 2.0 de nitrógeno, 1.5 de fósforo y 2.1 de potasio (Duran 2006).

**Bagazo de caña:** se obtiene en grandes cantidades en los ingenios azucareros después de la extracción del azúcar de la caña. Actualmente se emplea como combustible en los ingenios donde se procesa la caña, la melaza juntamente con el bagazo se puede mezclar y al ser manipulado con otros productos, para ser utilizados en la alimentación animal. El bagazo de caña contiene los siguientes valores nutritivos 7% de proteína cruda, 1.12% de nitrógeno, 0.15% de calcio y .07% de fósforo, (Alas, R; Alvarenga, H. 2002 tomado de (Clark, 2001; Ruiz, 1999).

**Cáscara de plátano:** el uso de cáscara de plátano como sustrato, podría ser una alternativa a acorto plazo para utilización eficiente de los desechos, esto tomando en consideración los hábitos alimenticios y de conversión de la lombriz doméstica, la cáscara de plátano muchas veces presentan un problema por su acumulación debido a que no hay forma adecuado de aprovechar estos desperdicios.

**Hojasasca (biomasa):** por medio de esta materia orgánica la naturaleza recicla los nutrientes entre la vida (organismo) y lo inanimado (suelo), generando un compuesto más o menos estabilizado de complejos carbonados como los ácidos húmicos, nutrientes, minerales, sales diversas de fósforo, Nitrógeno, Potasio y otros componentes.

**Pulpa de café:** varios investigadores determinan que la pulpa de café representa el 40% del peso fresco del fruto, variando la cantidad de la misma según la producción de cada país; tal es así que Honduras, con una producción de 4 millones de sacos de café de 45.35 Kg. Produce 438 000 toneladas de pulpa. La pulpa de café ha sido analizada en varios países, Honduras no ha sido la excepción, los contenidos de la misma varían de acuerdo al manejo que cada agricultor provea a la finca.

**Residuos de cocina:** lo constituyen el resultado del uso de productos domiciliarios de origen orgánico entre los más destacados están las cascavas de frutas y verduras, cascavones de huevo (triturados son mejor aceptados por la lombriz), verduras y frutas en descomposición (Tineo, 1994).

### **2.5.3. Sistema de alimentación**

Se utilizan capas delgadas (máximo 5 cm.) esto se hace por las siguientes razones:

- 1- Evitar el calentamiento del sustrato cuando está muy fresco.
- 2- Facilitar la aireación del cultivo.
- 3- Asegurar la transformación del material (Tineo, 1994).

### **2.5.4. Frecuencia y cantidad de alimento proporcionado.**

La cantidad de alimento se puede estimar de acuerdo a la densidad de lombrices en un área determinada, tomando como base la cantidad de alimento que consume diariamente la lombriz y a su tasa de reproducción. Como norma práctica se recomienda chequear una o dos veces si hay alimento, pues las densidades de lombrices van a variar en el tiempo, es recomendable que el alimento sea de un espesor de no más de 5 cm. y 30-50cm. de ancho. Luego se riega el alimento para permitir la distribución de agua al resto de la cama y atraer la lombriz a ese punto (Alas Rosales; Alvarenga Hernández, 2000).

### **2.5.5. Necesidades de humedad y frecuencia de riego.**

El alimento se prepara antes de llevarlo a las camas de lombrices, remojándolo si es necesario, hasta que estando totalmente humedecido no drene. Esto corresponde aproximadamente a un rango del 80 a 85% de humedad. Una humedad superior al 85% es muy dañina para las lombrices, haciendo que disminuyan su reproducción; no obstante, la lombriz puede vivir temporalmente en mucha humedad pero no trabaja ni se reproduce. El riego es una actividad que debe efectuarse cada vez que el módulo o lecho lo requiera, no hay que exagerar con la cantidad (Duran 2006).

### **2.5.6. Enemigos naturales.**

La bibliografía internacional menciona una lista de enemigos naturales, entre los que se encuentran: ranas, aves e invertebrados como: planarias (depredadoras de las lombrices), Mancaperros, Ciempiés, Hormigas y otros de menor cuantía. En este proceso participan muchos organismos que colonizan este sustrato por diversos motivos, realizando múltiples funciones como:

Alimentarse de la materia orgánica, las cochinillas, pequeñas larvas o insectos que son detritófagos compiten con la lombriz por el alimento sin causar daños directamente, otros depredadores, invertebrados o microorganismos descomponen la materia orgánica, utilizan el sustrato como escondrijo, etc. En fin cohabitan con las lombrices sin hacerles daño en condiciones normales (si las condiciones son adecuadas para las lombrices). Estos organismos se conocen como fauna asociada (Santillan, 1997).

La especie de hormiga que produce mayor dificultad es la hormiga roja, la cual se alimenta directamente de la lombriz, formando nidos en las camas de cría, El control de esta plaga es difícil y algunas veces es mejor cosechar las cajas atacadas y volver a inocular. Algunas formas de controlar esta plaga es manteniendo la humedad en el rango de 80%, se ha observado que aplicaciones de chingaste de café realizan un buen control de la hormiga.

**Planaria:** es uno de los mayores enemigos de la lombriz de crianza, este animal succiona los líquidos internos de la lombriz por medio de un tubo que inserta en el cuerpo de esta, un ataque fuerte de Planaria puede terminar en dos semanas con todo el lombricultivo. Cuando se detecta esta plaga es necesario cosechar de inmediato y si se quiere recuperar el pie de cría se deberá separar meticulosamente la lombriz de los criaderos infestados

**Ranas y Sapos:** estos batracios se convierten en una plaga muy fuerte cuando son abundantes en el lugar de explotación, su control es preventivo y se utilizan barreras físicas como las mallas y cultivo de nim.

**Pájaros:** se controlan utilizando barreras físicas, y en ocasiones se puede utilizar capa de zacate la cual ayuda a mantenerlos alejados de las lombrices (Cristales, 1997).

#### **2.5.7. Escalas de Producción de lombricultivo.**

**Doméstica o popular:** sólo se requiere de algunas cajas, cajones o cualquier recipiente de madera u otro material que se puede mantener en cualquier lugar de la casa o en el patio, con el propósito de utilizar como alimento para las lombrices los residuos de cocina y otros desperdicios que se originan en el propio hogar y emplear el producto (humus y lombrices) en el huerto, jardín, macetas o en la alimentación de los animales domésticos.

**Pequeña o Mediana escala:** se ubica en los predios del propio productor y su objetivo fundamental es reciclar residuos de cosecha, estiércoles de animales o residuos agrícolas industriales, para obtener el humus de lombriz con fines de fertilización de los cultivos del propio productor.

**Gran escala o comercial:** la producción se realiza a gran escala, cuya finalidad es obtener humus de lombriz y comercializarlo con las empresas agrícolas nacionales e internacionales, En general estas unidades poseen en explotación de más de 500m<sup>2</sup> de canteros de cultivo directo (Tineo, 1994).

#### **2.5.8. Productos de la lombricultura.**

**Humus de lombriz:** es un apreciable producto, resultado de la ingestión y digestión de diferentes residuales orgánicos por parte de la lombriz de tierra. Es un fertilizante bio-orgánico, de aspecto esponjoso, suave, ligero, granular. Posee óptima actividad fitohormonal, que junto con el pH apropiado y una amplia gama de macro y micronutrientes, se traduce en un aumento del porcentaje de germinación de la semilla, velocidad de crecimiento de las plántulas y mejoría en el estado vegetativo de éstas. El humus de lombriz es un excelente mejorador de las condiciones biológicas, físicas y químicas del suelo.

El humus después de cosechado es necesario beneficiarlo, para lo cual se realizan las siguientes operaciones:

**Secado:** se extiende sobre un plástico o piso y se deja que la humedad baje hasta un 40 %. Una vez seco se tamiza y puede envasarse en bolsas de polietileno, que tengan aireación, de diferentes tamaños para su venta. El más grueso se integra al lecho.

Si no se usa al instante, se puede almacenar bajo sombra, cuidando que la humedad no baje del 40 %, puesto que todavía hay actividad microbiana que es la que le da calidad al vermicompost.

**Tamizado:** el tamizado depende del propósito de uso, si es para fertilizar frutales y arboles perennes, es posible utilizarlo sin tamizar o pasarlo por una malla de 6mm, si se pretende fertilizar vegetales y otros cultivos temporales entonces es recomendable pasarlo por malla 2mm debido a las exigencias nutricionales de estos cultivos.

Trabajos experimentales han demostrado que el tamaño de partícula de humus de lombriz más efectivo para liberar elementos nutritivos es de 2mm lo que relacionan con el hecho de que la mayor parte de los elementos nutritivos contenidos en el humus se encuentran débilmente unidos a los ácidos orgánicos poco polimerizados disueltos en el agua de humectación.

#### **2.5.9. Características químicas del humus o Vermiabono.**

Las características químicas del humus de lombriz dependen en gran medida de la composición del residual que se da como alimento a las lombrices.

En general cuando se habla del humus de lombriz y sus dosis de aplicación en los cultivos se tiende a generalizar sus características, como si todos tuvieran la misma composición, sin embargo es altamente conocido que las características del humus depende mayoritariamente de la composición del alimento, aunque no debe descartarse otros factores también de importancia (Cervantes 2003).

#### **2.6. Aspectos generales del compostaje.**

La elaboración de compost que también se conoce como bio-tierra no es una práctica nueva pues se elabora desde hace siglos en el Asia. Es una técnica relativamente simple que puede ser aplicada en cualquier lugar en que se originen desechos orgánicos, ya que no es más que la elaboración de humus fuera del suelo. De esa manera los desechos orgánicos se transforman en un bio-fertilizante de alta calidad nutritiva y mejorador de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Peña Turruella, *et al*, 2002).

El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45%), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Es decir, el compostaje es una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila) va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado. (Peña Turruella, *et al*, 2002).

La elaboración de compost es el resultado de una actividad biológica compleja que se realiza en condiciones particulares por lo que, no resulta de un único proceso. Es en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Los cambios químicos y especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

El producto obtenido al final de un proceso de compostaje recibe el nombre de compost y posee un importante contenido en materia orgánica y nutriente, pudiendo ser aprovechado como abono orgánico o como sustrato (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **2.6.1. Ventajas del compostaje.**

Desde el punto de vista ecológico e industrial las ventajas del compostaje se manifiestan en la eliminación y reciclado de muchos tipos de residuos solventando los problemas que ocasionaría su deposición, y en la obtención de materiales apropiados para su uso en la agricultura. En este último sentido se persigue aumentar la similitud entre la materia orgánica de los residuos y el humus de los suelos, eliminar los posibles productos tóxicos que puedan permanecer en los residuos por la descomposición incompleta de los materiales, y aumentar la estabilidad biológica o resistencia a la biodegradación, con lo que se resuelven o atenúan los efectos desfavorables de la descomposición de los restos orgánicos sobre el propio suelo (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **2.6.2. Beneficios del uso del compost.**

Entre los beneficios del compostaje se incluyen:

**Acondicionamiento del suelo.** La utilización del compost como enmienda orgánica o producto restituidor de materia orgánica en los terrenos de labor tiene un gran potencial e interés en Cuba, ya que la presencia de dicha materia orgánica en el suelo en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad y evitar la desertificación a largo plazo. Además, cabe comentar que la materia orgánica en el suelo produce una serie de efectos de repercusión agrobiológica muy favorables como se señalan en el capítulo de la materia orgánica y se explican a continuación:

**Mejora las propiedades físicas del suelo.** La materia orgánica contribuye favorablemente a mejorar la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros), aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y contribuye a aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo mediante la formación de agregados (Peña Turrueña, *et al*, 2002).

**Mejora las propiedades químicas:** La materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y micronutrientes, y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo.

Esta propiedad consiste en absorber los nutrientes catiónicos del suelo, poniéndolos más adelante a disposición de las plantas, evitándose de esta forma la lixiviación. Por otra parte, los compuestos húmicos presentes en la materia orgánica forman complejos y quelatos estables, aumentando la posibilidad de ser asimilados por las plantas (Peña Turrueña, *et al*, 2002).

**Mejora la actividad biológica del suelo.** La materia orgánica del suelo actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos presentes en el suelo. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Una población microbiana activa es índice de fertilidad de un suelo (Peña Turrueña, E. *et al*, 2002).

Tanto el compost como los estiércoles son buenos acondicionadores del suelo con valor fertilizante. Normalmente el estiércol que se añade al suelo directamente, proporciona calidades comparables a las que alcanzaría con el compost.

Sin embargo, el acondicionamiento del suelo no justifica por sí solo hacer compost a partir de estiércoles. Hay beneficios complementarios por la utilización de compost como es el caso de que convierte el contenido del nitrógeno presente en los estiércoles en una forma orgánica más estable. Por tanto, esto produce unas menores pérdidas de nitrógeno el cual permanece en forma menos susceptible de lixiviarse y por tanto, de perder amoníaco. Además el calor generado mediante el proceso de compostaje reduce la viabilidad de las semillas que pudieran estar presentes en el estiércol (Peña Turrueña, *et al*, 2002).

**Disminuye los riesgos de contaminación y malos olores.**

En la mayoría de las granjas, el estiércol es más un residuo que un subproducto con valor añadido. Los principales inconvenientes son los olores y la contaminación por nitratos.

El compostaje puede principalmente disminuir estos problemas (Peña Turrueña, *et al*, 2002).

**Destruye los patógenos.** La destrucción de patógenos durante la fase termófila permite la utilización no contaminante del abono orgánico (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **2.6.3. Materiales de partida para el proceso de compostaje.**

Cualquier material biodegradable podría transformarse en compostaje una vez transcurrido el tiempo suficiente. No todos los materiales son apropiados para el proceso de compostaje tradicional a pequeña escala. El principal problema es que si no se alcanza una temperatura suficientemente alta los patógenos no mueren y pueden proliferar plagas. Por ello, el estiércol, las basuras y restos animales deben ser tratados en plantas específicas de alto rendimiento y sistemas termofílicos. Estas plantas utilizan sistemas complejos que permiten hacer del compostaje un medio eficiente, competitivo en coste y ambientalmente correcto para reciclar estiércoles, subproductos y grasas alimentarias, lodos de depuración.

También es necesaria la presencia de celulosa (fuente de carbono) que las bacterias transforman en azúcares y energía, así como las proteínas (fuente de nitrógeno) que permiten el desarrollo de las bacterias. Los restos de comida grasienta, carnes, lácteos y huevos no deben usarse para compostar porque tienden a atraer insectos y otros animales indeseados. La cáscara de huevo, sin embargo, es una buena fuente de nutrientes inorgánicos (sobre todo carbonato cálcico) para el suelo a pesar de que si no está previamente cocida tarda más de un año en descomponerse. (Mendoza; Sánchez Vigil, 2012)

Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de:

**Restos de cosechas.** Pueden emplearse para hacer compost o como acolchado. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, son menos ricos en nitrógeno. Abonos verdes, siegas de césped, malas hierbas.

**Las ramas de poda de los frutales.** Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.

**Hojas.** Pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.

**Restos urbanos.** Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como pueden ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos.

**Estiércol animal.** Destaca el estiércol de bovino, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina, estiércol de caballo, o de oveja.

**Complementos minerales.** Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo (Canovas 1993). Citado por (Mendoza; Sánchez Vigil, 2012).

Los materiales tales como virutas de madera, aserrín y estiércol vegetal reciclado se agregan generalmente como "agentes de carga" o "modificaciones" a la mezcla de compost, para proporcionar una fuente adicional de carbono y para controlar el contenido de humedad de la mezcla. Otros agentes de carga utilizados incluyen los residuos de madera, hojas, maleza, estiércol, pasto, paja y papel (Goldstein 1994). Citado por (Mendoza; Sánchez Vigil, 2012)

Aunque el aserrín se utiliza con frecuencia para el compostaje en los contenedores, los materiales más gruesos como las virutas de madera, se prefieren a menudo porque permiten una mejor penetración de aire y son más fáciles de eliminar. El compost reciclado se utiliza a menudo como un agente que proporciona volumen, sobre todo si los agentes de carga deben ser comprados. Sin embargo, su uso es limitado debido a que la porosidad disminuye a medida que aumenta la edad del reciclado (Goldstein 1994). Citado por (Mendoza; Sánchez Vigil, 2012)

#### **2.6.4 Proceso de compostaje.**

El compostaje es un proceso donde ocurren una serie de biotransformaciones oxidativas similares a las que ocurren en el suelo, que actúan sobre la materia orgánica mineralizando la fracción más fácilmente asimilable por los microorganismos y humificando los compuestos más difícilmente atacables. El resultado final es la obtención de un compuesto parcialmente mineralizado y humificado que puede sufrir mineralizaciones posteriores más lentas una vez que incorporado al suelo (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **2.6.5. Principales parámetros de control en el proceso de compostaje.**

En el proceso de compostaje el principio básico más importante es el hecho de que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y por tanto, tiene todas las ventajas y limitaciones de este tipo de procesos. Según esto, los factores que afectan a los microorganismos son los que requieren mayor control a lo largo del proceso.

Entre estos factores están: la aireación, el contenido en humedad, temperatura, pH, los factores nutricionales y la relación C/N (Peña Turruella, *et al*, 2002).

#### **Temperatura.**

Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración.

**Mesófila.** La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

**Termófila.** Cuando se alcanza una temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60°C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

**Enfriamiento.** Cuando la temperatura es menor de 60°C, reaparecen los hongos termófilos que re invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40°C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

**Maduración.** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus (Guibertau y Labrador 1991). Citado por (Mendoza; Sánchez Vigil, 2012) Figura 3.

La temperatura se debe controlar, ya que, por una parte, las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y, sin embargo, las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos (Peña TurrueLLa, *et al*, 2002).

### **Aireación.**

Es un factor importante en el proceso de compostaje y, por tanto, un parámetro a controlar. Como ya se ha comentado, el proceso de compostaje es un proceso aerobio, por lo que se necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos.

La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido.

La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso.

La aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad.

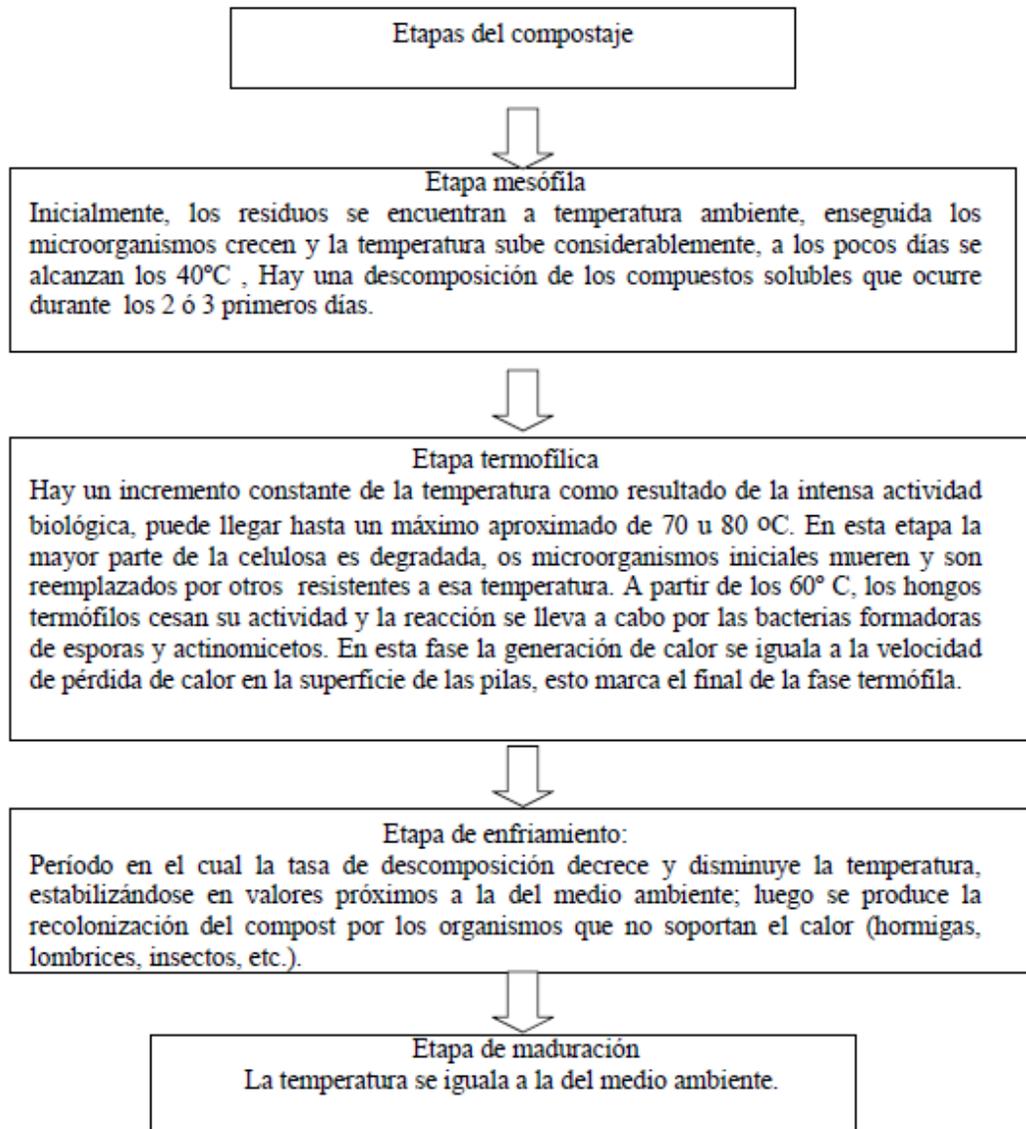
Así, por ejemplo, un exceso de ventilación podría provocar evaporación que inhibiría la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje. Esto podría dar la impresión de que el proceso ha concluido.

Por otra parte, el exceso de ventilación incrementaría considerablemente los gastos de producción (Peña TurrueLLa, *et al*, 2002).

### **Humedad.**

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40 – 60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75 – 85% mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50 – 60% (Cerisola 1989).

El control de la humedad es un factor importante para un efectivo proceso de compostaje. El contenido de agua debe ser controlada para la estabilización efectiva, la inactivación de patógenos, control de olores y la calidad del compost (Benedict 1988).



**Figura 3.** Etapas del compostaje.

**Fuente:** Peña Turruebla, *et al*, 2002

## **pH.**

Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro.

Al principio y como consecuencia del metabolismo, fundamentalmente bacteriano, que transforma los complejos carbonados de fácil descomposición en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto (8,5), coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (Peña Turruella, *et al*, 2002).

## **Factores nutricionales.**

Con respecto a los factores nutricionales, el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas.

Las dos terceras partes del carbono son quemadas y transformadas en CO<sub>2</sub> y el restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos para la producción de proteínas. Además, se necesita la absorción de otros elementos entre los cuales el más importante es el nitrógeno y en menores cantidades el fósforo y el azufre. Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y las materias grasas. El nitrógeno se encuentra en casi su totalidad en forma orgánica de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por éstos (Peña Turruella, *et al*, 2002).

## **Relación C/N.**

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25 – 35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín.

Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero (Cerisola 1989).

#### **2.6.6. Aspectos microbiológicos del compostaje.**

El compostaje, como ya se ha mencionado anteriormente, es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas. La naturaleza y número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial (Peña Turruella, *et al*, 2002).

La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provocan la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40° C hasta los 60°C.

Estas especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con lo cual la temperatura sube hasta los 70 ° C, apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas.

Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas se atacan muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente.

Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir (el calor que se genera es menor que el que se pierde) y las bacterias, fundamentalmente los hongos mesófilos, re-invaden el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina.

Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida. (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **2.6.7. Sistemas de Compostaje.**

Existen numerosos métodos para transformar materiales orgánicos mediante el compostaje, casi todos ellos se basan en el control de la aireación ya que su mayor control acelera el proceso.

### **2.6.8. En pilas o montones dinámicos.**

El material se dispone en largas pilas o montones de 2 a 4 metros de altura, que pueden estar cubiertas o no. La aireación se lleva a cabo por convección natural ayudada por volteos periódicos. La frecuencia de los volteos depende de la humedad, textura y estabilidad de la mezcla y se realiza para controlar la aireación. Estos volteos se realizan con varios objetivos: control del olor, mayor velocidad de transformación y control de insectos. Es el método más económico en cuanto a consumo de energía. (Álvarez de la Puente, sf)

### **2.6.9. En pilas estáticas aireadas por insuflación.**

Es un sistema donde la pila de compost permanece estática a lo largo del proceso de compostaje. El aire se introduce a través de un sistema situado en el suelo bajo la pila. Con este sistema se eliminan las condiciones anaerobias ya que está asegurado un volumen constante de aire que además puede regularse a través de controladores según las necesidades de la masa.

La corriente de aire puede ser positiva (insuflación) o negativa (aspiración), esta última se suele utilizar en situaciones en las que es necesario controlar el olor del compost. En otras ocasiones la aireación solo se realiza durante la etapa termófila mientras que durante la maduración no se aplica. Las combinaciones que se pueden hacer dependen del tipo de material, de las condiciones de partida, de los plazos para la finalización del compostaje, entre otros. El proceso requiere una inversión y mantenimiento mayores que en el sistema anterior pero el costo de mano de obra es más bajo. (Álvarez de la Puente, sf)

### **2.6.10. En reactores o contenedores.**

Este sistema se aplica cuando se requieren tasas elevadas de transformación y condiciones muy controladas. El compost se hace "rápidamente". Son sistemas más complejos y son más costosos de construir, operar y mantener. Permite una amplia gama de diseños ya sean horizontales o verticales y normalmente están provistos de un sistema de agitación que permita una aireación y homogeneización de la masa.

Su funcionamiento es del tipo reactor y frecuentemente el producto fresco entra por un lado y sale procesado por el otro. Su utilización está indicada en el caso de mezclas complejas con algún tipo de dificultad. La finalidad de estas metodologías es acelerar el proceso de transformación. Se consiguen tasas de procesado de hasta una semana frente a los sistemas tradicionales que duran entre uno y tres meses. En casi todos los casos la fase de maduración o estabilización del producto se lleva a cabo fuera del reactor en el exterior y frecuentemente con el sistema de pilas o montones al que se realiza algún volteo de homogeneización final. (Álvarez de la Puente, sf)

#### **2.6.11. Operaciones de Compostaje.**

El proceso de compostaje requiere toda una serie de operaciones, algunas de las cuales se repiten a intervalos a lo largo de todo el proceso. Estas se pueden dividir en:

#### **3.6.12. Operaciones primarias.**

##### **Recogida y transporte.**

Generalmente, el compostaje empieza con la recogida de materiales orgánicos adecuados que se transportarán hasta el sitio donde se vaya a realizar y que se mezclarán hasta conseguir una humedad y una relación C/N adecuadas.

Las materias primas de tipo estiércol necesitan una atención inmediata porque rápidamente sufren fermentación anaerobia dando lugar a malos olores (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Sin embargo materiales tales como paja, astillas, hojas y aserrín se descomponen mucho más lentamente debido a su alto contenido en carbono y baja humedad y por esta razón pueden almacenarse durante largos periodos de tiempo antes de que comiencen a degradarse. Si estuvieran húmedos comenzarían a compostar pero debido a su bajo contenido en nitrógeno lo harían a una velocidad despreciable (Peña Turruella, *et al*, 2002).

##### **Mezcla y construcción de la pila.**

Materiales sólidos: La etapa fundamental de todo compostaje es mezclar los materiales en las proporciones adecuadas y colocar la mezcla en forma de pila o cargar el reactor si es que el compostaje se va a efectuar en un sistema cerrado, en este último caso la etapa de mezcla no es necesaria ya que está incluida en el sistema. La mezcla y la formación de la pila se pueden realizar de distintas maneras, dependiendo del método de compostaje utilizado, del equipo disponible y del manejo del estiércol que se haya hecho en la finca o unidad de producción.

La maquinaria requerida para estas operaciones es convencional (cintas transportadoras, palas mecánicas, remolques esparcidores, equipos combinados, etc.) (Peña Turruella, *et al*, 2002).

La pala mecánica es un equipo muy común en una finca o unidad de producción. Con ella y con el remolque esparcidor de estiércol se pueden realizar prácticamente todas las tareas, tanto la mezcla como la formación de la pila. Cuando se trata de pilas aireadas como volteo o con aireación pasiva, la mezcla y la formación se realizan en una sola etapa, sin embargo, cuando las pilas son de aireación forzada la mezcla y la formación han de hacerse por separado debido a las tuberías que van por la base de la pila (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Materiales líquidos: Se entiende por materiales líquidos aquellos residuos ganaderos procedentes de las explotaciones porcinas y bovinas (purines) los cuales poseen entre 65 y 91% de humedad y un alto contenido en materia orgánica y nutrientes minerales; los residuos del procesamiento de la industria pesquera; los residuos de la industria láctea. Los materiales líquidos presentan problemas especiales de manejo y se han de incorporar a la mezcla de compostaje sin que esta se encharque. Además muchos líquidos presentan olores fuertes por lo que necesitan medidas adicionales (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Estos residuos líquidos podrían ser residuos primarios o material secundario siempre que el sistema de compostaje sea capaz de absorberlos. Ocasionalmente, se puede añadir líquido a una pila de compostaje cuando se necesita mantener una humedad adecuada, lo cual supone una buena alternativa para la utilización de ciertos residuos líquidos diluidos, tales como aguas de lavado de centrales lecheras o los propios lixiviados de la planta de compostaje previamente recogidos en fosas apropiadas (Peña Turruella, *et al*, 2002).

En cualquier caso los otros materiales que se van a compostar deben ser lo suficiente absorbentes para retener todo el residuo líquido añadido sin que se sacrifique su porosidad. Generalmente se requiere la adición de grandes cantidades de materiales de tipo aserrín, turba, papel o compost reciclado (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Si el volumen de residuo líquido es pequeño se puede añadir durante el mezclado inicial, sin embargo, si la cantidad que se va a añadir es tan grande que humedecería demasiado la mezcla, el residuo líquido se debería añadir de forma regular a lo largo del proceso a medida que la mezcla pierda humedad. Naturalmente, se necesita dar un volteo inmediatamente después de la adición del residuo líquido (Peña Turruella, *et al*, 2002).

Con objeto de evitar que el líquido escurra por los lados de la pila sea necesario hacer un surco en la parte superior donde se deposita el líquido. Si el líquido es maloliente lo mejor es introducirlo en el interior de la pila antes del volteo.

Actualmente nadie pone en duda el valor fertilizante de estos residuos (Peña Turrueña, *et al*, 2002).

### **Rendimiento del compostaje.**

Este dato puede ser importante para conocer el dimensionamiento de la planta de elaboración. Se han efectuado estudios utilizando distintos materiales ricos en nitrógeno y lignocelulosas haciendo evaluaciones y análisis de los montones durante unos 90 días, sobre los compost brutos y refinados, llegando a la conclusión de que el compostaje es la técnica óptima de aprovechamiento de los residuos orgánicos, actuando sobre su revalorización y las pérdidas del proceso se sitúan próximas al 50% tanto en peso como en volumen (Peña Turrueña, *et al*, 2002).

### **Maduración.**

A continuación de la fase activa se requiere un periodo de al menos un mes durante el cual el proceso termina el compost desarrolla las características deseadas para sus posteriores aplicaciones. Generalmente, este periodo de maduración se lleva a cabo en una zona diferente al sitio donde se ha realizado la fase activa del compostaje, no obstante, la maduración se puede realizar en el mismo sitio y en la misma pila donde ha tenido lugar la fase activa.

Dado que las pilas en maduración están sufriendo una ligera descomposición, es necesario seguir manteniendo las condiciones aerobias, ya que en condiciones anaerobias se producen malos olores y compuestos tóxicos para las plantas. Si bien en esta etapa no se requieren volteos ni aireación forzada, las pilas en maduración deben ser lo suficientemente pequeñas para permitir una adecuada aireación en su interior, sobre todo si la aplicación que se le va a dar requiere productos de alta calidad, como por ejemplo la utilización como sustrato.

Las condiciones anaerobias también se pueden dar con una excesiva humedad o por una acumulación de agua en la base de la pila. Debido a que las pilas en fase de maduración no producen suficiente calor como para dar lugar a que haya una pérdida de agua por evaporación, la zona de maduración debe estar bien drenada con canalizaciones para recoger el agua de lluvia y evitar que se acumulen en el sitio donde están las pilas.

El método más efectivo para corregir la humedad o las condiciones anaerobias es volverla a mezclar y extenderla sobre una superficie abierta. De esta manera, se introduce oxígeno en la pila y los compuestos anaeróbicos se descomponen aeróbicamente o bien se evaporan.

En el curso de la maduración las sustancias húmicas evolucionan, no sólo cuantitativa sino también cualitativamente, con el predominio hacia compuestos de elevado peso molecular (ácidos húmicos) sobre aquellos de peso molecular más bajo (ácidos fúlvicos).

La valoración entre las diversas fracciones, así como la relación existente entre ellas, resulta un importante índice de evolución del proceso y de la madurez del compost final (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **Almacenaje.**

Es necesario almacenar el compost durante periodos comprendidos entre los tres y seis meses. Los compost acabados que se han dejado madurar adecuadamente todavía tienen aunque baja, cierta actividad microbiana, por lo que se deben evitar, en lo posible, condiciones que aumenten el riesgo de crear condiciones anaerobiosis. La altura de las pilas no debe superar los 4 metros, ya que a medida que aumenta la altura, se incrementa el riesgo de que pueda tener lugar una combustión espontánea. En caso de que las pilas estén húmedas o desarrollen anaerobiosis, se pueden utilizar las medidas recomendadas para las pilas que están en maduración.

En general, una práctica segura es desmontonar las pilas grandes y hacer varias de menor tamaño unas semanas antes de su utilización o venta (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **Molienda, tamizado y separación.**

La mayoría de las materias primas que se usan para compostar no requieren molienda ni tamizado, sobre todo si el sistema que va a utilizar es el de pilas con volteo; no obstante, hay materiales, como los residuos de poda, que por su gran tamaño necesitan ser troceados.

Ocasionalmente, algunas materias primas necesitan una separación previa al compostaje, tal es el caso de los residuos de establo que pueden contener bolsas de plástico, hojas, pajas o restos de basura.

En general, la selección se hace a mano salvo cuando los materiales indeseables están en gran cantidad, en cuyo caso se hace necesaria una separación mecánica. Si el material indeseable no es perjudicial para el compostaje la separación mecánica se puede dejar para el final.

También es necesario hacer una separación al final del compostaje cuando se quiere recuperar el agente "bulking" (de relleno) en los casos en que este material se haya utilizado. Normalmente esta operación se realiza siempre que se quiera mejorar la calidad del producto final.

Para que la separación sea más efectiva, el material ha de tener una humedad inferior al 45%. Alguno de los modelos de separadores consta de una picadora y un mezclador. Las picadoras incluyen cintas vibratoras o martillos que rompen los aglomerados del material antes de que éste sea separado.

Los mezcladores pueden añadir fertilizantes o arena según el uso a que se vaya a destinar el producto final.

Existen muchos tipos de separadores, la elección de uno u otro tipo dependerá de la clase de materiales, del contenido en humedad, de los costos y de la utilización ulterior del producto obtenido. Entre las diferentes clases de separadores se encuentran los cribadores, los vibradores, los discos onduladores, los de barreno y los giratorios (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **Secado.**

Un compost húmedo es indicativo de que la mezcla de partida tenía una humedad muy alta, que en la fase activa del proceso no se ha alcanzado la temperatura adecuada, que los volteos no han sido suficientemente frecuentes, que el sitio donde se ha realizado no estaba bien drenado o que el clima ha sido demasiado frío y lluvioso.

En general si el proceso de compostaje se ha llevado a cabo correctamente no es necesario recurrir al secado. Es absolutamente necesario que el compost esté seco sobre todo si se va a utilizar como substrato o va a ser envasado en sacos

Una buena práctica es producir un compost con un contenido en humedad final entre el 35 y el 45%, teniendo en cuenta que por debajo de 45% mejora mucho su manejo y que por encima del 35% se minimiza la producción de polvo.

En los sistemas de compostaje, el secado implica una aireación extra o una prolongación del periodo de compostaje. Una buena alternativa, cuando el clima es caluroso y seco es extender el compost en una capa fina encima del terreno y dejarlo secar de una forma natural, si bien esto dependerá de la superficie disponible (Peña Turruella, *et al*, 2002).

### **3. Fundamentos teóricos.**

#### **3.1. Antecedentes.**

Estudiantes de la Universidad Nacional del Noroeste de Argentina realizaron un estudio de aceptabilidad de alimento de origen vegetal, esto para la utilización de los residuos donde diariamente se produce gran cantidad de residuos a nivel familiar de los cuales una gran proporción son de origen orgánico.

Hace tiempo se planteaba la posibilidad de la utilización de estos materiales a través del compostaje y lombricultura. (Verón, *et al.* (sf)).

Mediante este trabajo se planteó uno de los posibles modos de manejo de los desechos utilizándolos como alimento de lombrices, que ha permitido solucionar algunos de estos problemas.

El trabajo se llevó a cabo en una vivienda familiar utilizando todo el material de origen orgánico que normalmente se desechaba, el cual estaba formado por los residuos de cocina (cáscaras de frutas y hortalizas, vegetales en mal estado, restos de comidas, papeles, etc.) y el corte de césped y arreglo de jardín. (Verón, *et al.* (sf)).

El material se juntó periódicamente en un contenedor de 200 litros ubicado a la intemperie, el cual poseía una cobertura en la parte superior que no permitía el pasaje de agua ni de moscas pero si la circulación de oxígeno, además este recipiente se encontraba perforado en la parte inferior de modo que si hubiese un exceso de jugos existía un adecuado drenaje sin dar lugar a condiciones de anaerobiosis.

Siendo los materiales a compostar una mezcla de diversas características se decidió clasificarlos en absorbentes como ser papeles, cartones y hojarasca, los cuales actúan como estructurantes y como fuente de carbono (Cebrián. *et al.* (sf)), y materiales que desprenden jugos, como son las frutas y hortalizas.

De esta forma se fueron formando capas de materiales absorbentes alternadas con capas de materiales jugosos, de manera que los jugos desprendidos eran absorbidos por los materiales secos sin producirse zonas de excesiva humedad y sin perder los jugos en el drenaje, lo cual es muy importante por ser una forma de perder nutrientes. Al agregar los residuos solo se realizó un trozado grosero (Grueso) y no se humedecieron los residuos ya que por lo general estos poseen el contenido de humedad suficiente para su posterior descomposición (Verón, *et al.* (sf)).

El material se juntó durante aproximadamente una a dos semanas, un tiempo menor de recolección no hubiese permitido juntar la cantidad suficiente de material para lograr la elevación de temperatura deseada en el compostaje y un período más largo de recolección determinaría tiempos de terminación de la etapa de compostaje muy variables debido a las distintas velocidades de degradación de cada residuo.

Una vez juntada la cantidad de material suficiente se realizó un picado fino del material.

Este punto fue muy importante ya que al picar el material se logró formar una pila bastante homogénea de una serie de residuos totalmente distintos, mezclar las capas formadas en el período de recolección y homogenizar la humedad de toda la pila (Verón, *et al.* (sf)).

Además al obtener una granulometría del compost más fina se logró disminuir la cantidad de impurezas, concentrar los elementos fertilizantes, aumentar la calidad, etc. (Madrid *et al.* 2001).

Trabajando de esta manera se consiguieron temperaturas por arriba de los 50° C a los pocos días y se mantuvieron durante una semana. Lo cual según Dalzell *et al.* 1991, es muy importante para la calidad del compost final.

Durante la primera semana posterior al picado se incrementó la actividad de la pila de compost, por lo que se realizaron dos volteos para airear la pila y evitar la formación de olores desagradables. En la segunda y tercer semana la actividad disminuye por lo que no hicieron falta tantos volteos, pero se continuó el control de la pila de compostaje, ya que es común que se presenten picos de actividad en estos materiales (Verón, *et al.* (sf)).

En toda esta etapa hubo un notable cambio en la coloración, partiendo del color propio de cada material y tornándose estos hacia un pardo verdoso en los momentos de máxima actividad para llegar a un color homogéneo y oscuro en el momento de terminación.

Los resultados de la investigación fueron satisfactorios ya que se realizó la prueba de aceptación del material por parte de las lombrices y se observó que las lombrices entraron al material sin inconvenientes.

Posteriormente se observó que una vez que las lombrices entraban en el material ya no eran necesarios otros controles más que mantener la humedad y seguir entregando alimento.(Verón, *et al.* ((sf)).

Otro estudio muestra la importancia de evaluar diferentes sustratos que estén disponibles en cada región, ya que es factible obtener lombricomposta de una gran variedad de materiales orgánicos. El presente trabajo se realizó de diciembre de 1999 a junio del 2000 en las instalaciones de la Fundación PRODUCE, ubicadas en el Valle de Guasave, Sinaloa.

La investigación tuvo como objetivo evaluar tres sustratos orgánicos (estiércol bovino, lirio acuático, y mezcla de desechos de mercado) como fuente para producir lombricomposta. Cada uno de los sustratos se evaluó en camas de 10 m de largo x 1 m de ancho y 0.5 m de profundidad, techados con malla de invernadero al 80% sombra para proteger a las lombrices de la luz directa del sol y de depredadores mayores como aves y reptiles.

Los resultados encontrados mostraron que el estiércol de bovino y el lirio acuático fueron los sustratos con mejores cualidades, ya que presentan una alta conductividad eléctrica y pH estable para producir lombricomposta y lombrices de manera intensiva. La mezcla de desechos de mercado requiere mezclarse con otros sustratos (estiércol, hojas, pastos) para obtener resultados similares. Cada uno de los sustratos puede ser utilizado con fines agrícolas, acuaculturales y en producción de lombrices debido a su contenido nutricional. (Rodríguez, *et al.* 2000)

Un anteproyecto en Chile realizado en el año 2005, contemplo una solución para la empresa procesadora de Salmones Invertec S.A. de Llau - Llau en lo referido al tratamiento y disposición de sus Residuos Industriales Líquidos. La construcción del sistema de tratamiento de residuos industriales líquidos logra cumplir la normativa de descarga de aguas residuales a aguas superficiales sin poder de dilución.

El anteproyecto describe la reutilización de las unidades existentes, tales como el sistema de separación de sólidos. Analiza las actuales condiciones de trabajo de la instalación, parámetros de contaminación presentes en los riles y los esperados una vez aplicado el lombrifiltro. Además incluye consideraciones técnicas para diseñar las instalaciones nuevas y las estructuras necesarias a construir de acuerdo a la cantidad de agua que se debe tratar.

El sistema en cuestión obedece a la necesidad de la empresa de tratar sus residuos líquidos industriales, utilizando un sistema de tratamiento que es efectivo y con costos bajos de inversión y de operación (Hernández Borquez, 2005).

En otra investigación se estudiaron cinco densidades poblacionales y dos fuentes de alimentación en la producción de lombriabono y carne de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) bajo un sistema de ambiente semi-controlado. El diseño utilizado fue completamente al azar con arreglo en parcelas divididas; las parcelas grandes eran tipos de alimentación y las parcelas pequeñas las densidades de población.

En las parcelas grandes se aplicó como fuente de alimentación estiércol de bovino y estiércol de conejo, de acuerdo a la azarización de los tratamientos y en las parcelas pequeñas se estudiaron densidades de 100, 200, 300, 400 y 500 lombrices por tratamiento distribuidas de acuerdo a la azarización.

Para evaluar los resultados de cada variable se aplicó análisis de varianza y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (D.M.S), obteniendo los siguientes resultados: en relación al total de las lombrices, las densidades de 200, 400 y 500 lombrices, son las que presentaron los mayores efectos. Respecto a la producción promedio de lombriabono.

Número total de lombrices y producción de carne, pues fue el uso de estiércol bovino el que presentó mejores resultados. Se concluyó que la mejor fuente de alimentación para la producción de lombriabono y carne de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) fue el estiércol de bovino, de igual forma se logró identificar que las densidades más adecuadas para llevar a cabo la producción de lombriabono y carne fueron las densidades de 400 y 500 lombrices por tratamiento (López Torres, 2012).

El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento, reproducción y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida Savigny* en 5 sustratos orgánicos: se utilizó estiércol vacuno, broza de café, residuos de banano, restos de follaje de ornamentales y residuos de origen doméstico. Los materiales fueron previamente estabilizados y colocados en volúmenes de 0,03 m<sup>3</sup> dentro de cajones de madera, a los cuales se les adicionó una población de 600 individuos maduros, lo que equivale a 20000 individuos.m<sup>3</sup>. El proceso de lombricompostaje tuvo una duración de 3 meses, durante los cuales se realizó 3 muestreos. El peso promedio de los individuos varió de 0,34-0,66 g. Estadísticamente se diferenciaron 2 grupos: doméstico y banano (0,58 y 0,66 g, respectivamente) y broza, estiércol y ornamental (0,40, 0,42 y 0,36 g, respectivamente).

La reproducción y sobrevivencia al final del experimento fue diferente para cada uno de los sustratos utilizados, siendo el de broza el que presentó los mayores valores en población final y domestico con los menores (16900 y 408 individuos de los 600 inoculados inicialmente).

Las correlaciones mostraron un comportamiento inverso entre reproducción y peso de los individuos.

Se concluye que tanto el tamaño de los individuos como su tasa de reproducción son influenciados por el tipo de sustrato. (Duran; Enríquez, 2009)

### 3.2. Estudios realizados por diferentes autores sobre las aportaciones de sustratos al contenido químico en los abonos de lombriz.

Los estiércoles son el alimento de mayor uso en la alimentación de las lombrices aquí se presentan dos de los principales conejo y bovino donde se puede observar diferencias marcadas entre estos saliendo en mejor condición de contenido de nutrientes el de conejo.

Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Resultados del análisis químico de muestras de estiércol bovino y conejo.

| Tipo de análisis           | Estiércol de conejo | Estiércol de bovino |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Nitrógeno total            | 2.04%               | 1.85%               |
| Fósforo total              | 2.58%               | 0.86%               |
| Potasio total              | 1.78%               | 1.81%               |
| Calcio total               | 3.95%               | 1.84%               |
| Magnesio total             | 1.21%               | 0.51%               |
| Materia orgánica           | 50.39%              | 57.02%              |
| Relación carbono nitrógeno | 13.72%              | 17.12%              |
| pH                         | 7.76%               | 8.06%               |

**Fuente:** López Torres, 2012

Para conocer de forma más amplia diferentes fuentes de alimentación de origen animal y vegetal y su comparación se presenta el cuadro que contiene de los principales sustratos utilizados en la alimentación de la lombriz. Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Contenido mineral del abono producido por *Eisenia foetida L.* a los 90 días del cultivo.

| Elemento         | Sustratos |           |           |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------------|
|                  | Vacasa    | Gallinaza | Cerdaza   | Pulpa | Pseudotallo |
| pH               | 7.09      | 7.75      | 7.38      | 7.13  | 8.17        |
| M.O. %           | 7.4       | 6.97      | 7.16      | 6.6   | 6.35        |
| Fósforo ppm      | 1.574.8   | 1.688.67  | 1.7724.25 | 79.09 | 165.31      |
| Potasio meg/100  | 2.36      | 4.77      | 0.42      | 4.87  | 2.1         |
| Calcio meg/100   | 16        | 7.75      | 7.5       | 21.5  | 13.75       |
| Magnesio meg/100 | 14.17     | 12.71     | 19.17     | 9.45  | 13.02       |
| Aluminio meg/100 | 0.7       | 0.64      | 1.5       | 0.01  | 0.01        |
| Zinc ppm         | 48        | 6         | 81        | 27    | 22          |
| Cobre ppm        | 0.5       | 0.5       | 0.5       | 0.5   | 2           |
| Manganeso ppm    | 107       | 55        | 101       | 77    | 108         |
| Hierro ppm       | 14        | 2         | 10        | 16    | 9           |

**Fuente:** Rodríguez, 1996

Se realiza la comparación de tres fuentes de alimentación de diferente naturaleza pero que considera los desechos de mercado, lirio acuático y estiércol. Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Parámetros físico-químicos medidos de 3 sustratos utilizados para la elaboración de lombricompost.

|                                                     | Desechos mercado |       | Lirio acuático |       | Estiércol |       |
|-----------------------------------------------------|------------------|-------|----------------|-------|-----------|-------|
|                                                     | Inicial          | Final | Inicial        | Final | Inicial   | Final |
| pH                                                  | 6.3              | 7.1   | 7.1            | 8.0   | 7.8       | 7.1   |
| CE (dSm <sup>-1</sup> )                             | 1.3              | 2.6   | 2.4            | 6.4   | 1.33      | 0.88  |
| NO <sub>3</sub> (mg g <sup>-1</sup> )               | 67               | 105   | 24.4           | 203   | 21.3      | 50    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg g <sup>-1</sup> ) | 54               | 25    | 22             | 20    | 30        | 26    |
| K (mg g <sup>-1</sup> )                             | 443              | 330   | 3.87           | 181.2 | 411       | 189   |

**Fuente:** (Rodríguez, G *et al.* 2000)

El porcentaje de agua contenida en frutas y verduras se considera de importancia ya que son las materias primas utilizadas para el sustrato en estudio; se observan rangos de 70 hasta el 100 % de humedad contenida en algunas hortalizas. Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Humedad contenida en frutas y hortalizas. (Figura A4)

| PRODUCTO                  | HUMEDAD   |
|---------------------------|-----------|
| FRUTAS                    | 85 A 95%  |
| HORTALIZAS                | 90 A 98%  |
| CEBOLLAS SECAS Y ZAPALLOS | 70 A 75%  |
| RAICES                    | 95 A 100% |

**Fuente:** (Rodríguez, G *et al.* 2000)

### III. MATERIALES Y METODOS.

La investigación se realizó durante el periodo de septiembre de 2012 a junio de 2013, en las instalaciones del Movimiento de Agricultura Orgánica de El Salvador, MAOES en el Municipio de San Salvador; ubicados en las coordenadas 13°.7' Latitud Norte y 89°.25' Longitud Oeste, a 770 m.s.n.m. y como división política San Salvador. La precipitación media anual es de 1734 mm y tiene una temperatura media anual de 32° C, Humedad Relativa de 42%.

### **3.1. METODOLOGIA DE CAMPO.**

La investigación se realizó en las siguientes fases: Recolección de materia prima para el compostaje, proceso de compostaje, distribución del alimento compostado en las diferentes cajas y determinación de pH.

#### **3.1.1. Recolección del material.**

##### **3.1.1.1. Cajas de durapax.**

Las cajas de durapax fueron recolectadas en la Avenida Independencia de la ciudad de San Salvador. Las medidas de estas son las siguientes: 40 cm de ancho, 60 cm de largo y 15 cm de profundidad; la utilización de este material es para no perder de vista la reutilización de residuos urbanos.

##### **3.1.1.2. Recolección de residuos vegetales.**

La recolección de los residuos vegetales se llevó a cabo en el pasaje 2 de la colonia Ávila de San Salvador. Durante el transcurso de la investigación se colectaron los residuos todos los lunes; se colectaban un aproximado de 70 libras para poder suplir las necesidades de cada unidad experimental.

Una vez colectado el material se separó todo material extraño como vasos de durapax, cucharas y tenedores plásticos, bolsas plásticas, cascaras de cítricos como: Naranja, mandarina y chupones de limón, ya que estos tienden a ser tóxicos o repelentes para las lombrices por los aceites esenciales que contienen.

Se podía observar durante la recolección que el material vegetal mas abundante eran cascaras de sandía, cascaras de melón, cascaras de pepino y de mango en menor cantidad se podía observar cascaras de pepino, cítricos y algunas hortalizas.

#### **3.1.2. Proceso de compostaje.**

Los residuos vegetales fueron compostados frescos en cubetas plásticas de 5 galones de capacidad debidamente identificadas de acuerdo a los tiempos de compostaje (Una semana, dos semanas y tres semanas) las cubetas contenían alrededor de 25 lb cada una. Todas las cubetas estaban perforadas en la parte inferior para drenar los excesos de humedad y evitar la putrefacción de esto. Una vez retirados los materiales extraños, los desechos fueron colocados en las cubetas tal como recolectados para que iniciaran su proceso de compostaje, y se removían cada semana para oxigenarlos. (Figura. A2)

### **3.1.3. Distribución de alimento compostado en las cajas con las densidades de 300 y 600 lombrices respectivamente.**

El compost fue distribuido en las cajas de acuerdo al tiempo utilizado para su preparación, sea este de una semana de compostaje, de dos o de tres. Se colocó por caja un kilogramo de compost y se hizo en un intervalo de ocho días, dando espacio a que las lombrices trabajaran sobre el alimento, se realizó la azarización y se colocaron respectivamente los tratamientos de 300 y 600 lombrices por unidad experimental, cada lombriz se encontraba en estado adulto ya que se corroboró la presencia de clitelo (gónadas sexuales) en cada individuo, con peso de 0.80 gr aproximadamente cada uno; además se tomó la temperatura del compostaje una vez por semana en cada sustrato. (Figuras. A3, A4, A5, A6)

### **3.1.4. Determinación de pH.**

El pH se midió en cada uno de los sustratos de cada tratamiento, previo a la alimentación de las lombrices. Se utilizó papel pH-Fix y se hizo una vez cada semana de acuerdo al plan de alimentación. (Figura. A8)

## **3.2. METODOLOGIA DE LABORATORIO.**

### **3.2.1. Determinación de la calidad de abono.**

Por medio de la gestión del departamento y la carta de convenio existente entre la facultad y el CENTA se logró el análisis de las muestras de abono obtenidas en el ensayo las cuales arrojaron los datos que se discuten en este documento.

### **3.2.2. Determinación de humedad por el método gravimétrico.**

Por medio de la gestión del departamento y la carta de convenio existente entre la facultad y el CENTA se logró el análisis de las muestras de abono obtenidas en el ensayo las cuales arrojaron los datos que se discuten en este documento.

Se realizó en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador y se utilizó la marcha para la determinación de humedad en lombrion abono húmedo al final del experimento, de la norma **NMX-FF-109-SCFI-2007** la cual rige en México la calidad de este tipo de abono.

El método se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de humus de lombriz. Esta masa de agua se referencia de la masa de humus húmedo de la muestra. (Figura. A9, A10)

La medición se hizo por la diferencia en peso entre la masa de humus húmedo y la masa de humus seco. Se considera como humus de Lombriz seco aquel secado a la estufa a  $70 \pm 5^\circ\text{C}$  por 24 horas, hasta obtener un peso constante.

#### **Procedimiento.**

1. Se Lava y limpia perfectamente e identifican las cajas de aluminio a utilizar.
2. Las cajas con todo y tapa se introducen a la estufa durante 8 horas a una temperatura de  $70 \pm 5^\circ\text{C}$ .  
Posteriormente se registra el peso y se vuelven a introducir las cajas a la estufa hasta que se logre un peso constante en las muestras, todo este procedimiento previo al enfriamiento de las cajas que se colocan en un desecador.
3. Utilizando las pinzas, se sacan las cajas del desecador de vacío hasta que se enfríen y se pesan con todo y tapa, éste será el peso de caja.
4. Se coloca la muestra, aproximadamente entre 20 – 30 g, en la caja de aluminio.
5. Pesar la caja con el humus húmedo, este peso deberá ser el peso de caja más el humus de lombriz húmedo.
6. Se destapar la caja con el humus de lombriz húmedo y se coloca la tapa en el interior y se introduce en la estufa a una temperatura de  $70 \pm 5^\circ\text{C}$ .
7. Después de 24 horas se saca la caja de la estufa, se tapa y se coloca en el desecador de vacío hasta que se enfríe, posteriormente se pesa la caja con la muestra seca, este peso será el peso de caja más el peso del humus de lombriz seco.
8. Se vuelven a introducir las cajas a la estufa y una hora después se sacan y se enfrían en un desecador, se pesan varias veces hasta obtener el peso constante.

#### **Cálculos.**

Con los datos obtenidos en el procedimiento, aplicar la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{(PB + PHHL) - (PB + PSHL)}{(PB + PHHL) - PB} \times 100$$

En donde:

% H es el contenido de humedad gravimétrico expresado en porcentaje (%)

PB es el peso del bote con tapa (g)

PHHL es el peso húmedo del humus de lombriz (g)

PB + PHHL es el peso del bote más peso húmedo del humus de lombriz (g)

PB + PSHL es el peso del bote más peso seco del humus de lombriz (g)

### **3.2.2. Material y Equipo de laboratorio.**

- Cajas de aluminio para determinación de humedad.
- Estufa de circulación forzada de aire y temperatura controlada.
- Balanza analítica con aproximación de 0.01 g.
- Pinzas metálicas.
- Desecador de Sílice.

### **3.2.3. Cosecha de lombriabono.**

- Al terminar los 90 días del ensayo se recolecto y se separó el abono contenido en las cajas de durapax
- Se procedió a secar el abono cosechado bajo la sombra. Este fue esparcido sobre un plástico extendido en el suelo para aislarlo de la humedad.
- Se tamizo a través de una zaranda de 5 mm, con el objetivo de separar las partículas gruesas o material sin descomposición.
- Se realizó el pesaje del abono tamizado en una balanza semi analítica, pesando un aproximado de 2.5 libras para enviar al laboratorio.
- Una vez pesado se envió al Laboratorio de suelos de CENTA para su respectivo análisis químico.

### **3.2.4. Determinación de densidad de población de lombrices.**

Se realizó a los noventa días de haber montado el ensayo donde se tomó cada unidad experimental y se procedió de forma manual a contar cada individuo vivo dentro de la caja y la diferencia con el número de individuos sembrados al inicio resulto en la reproducción real.

## **3.3. METODOLOGIA ESTADISTICA.**

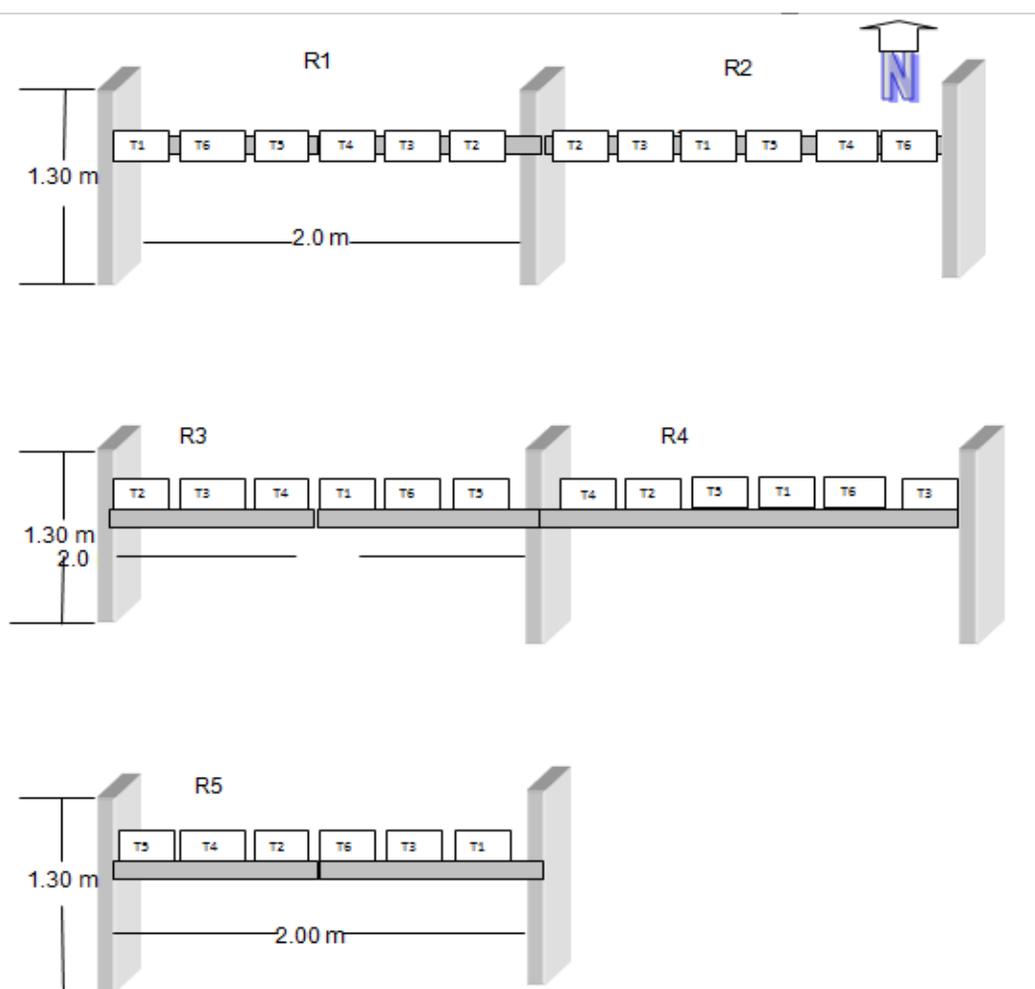
### **3.3.1. Diseño estadístico a utilizar.**

El diseño estadístico aplicado fue el completamente al azar con un arreglo bifactorial 3X2; tiempo de descomposición de residuos vegetales, bajo tres niveles: t1 (una semana de compostaje), t2 (dos semanas de compostaje) y t3 (tres semanas de compostaje); la densidad de siembra de lombrices, bajo dos niveles: d1 (300 lombrices) y d2 (600 lombrices); el número de repeticiones fue de cinco, dando como resultado treinta unidades experimentales, el nivel de significancia utilizado fue de 0.05 aceptable en este diseño.

Las variables evaluadas fueron producción de abono, densidad de la población de lombrices y calidad de abono. A cada una de las variables se les realizó un análisis de varianza y al mostrar diferencias significativas se les aplicó la prueba de contrastes ortogonales, a un nivel de significancia del 5%. Para el análisis de los datos estadísticos se utilizó el programa INFOSTAT versión libre; al final del estudio también se realizó un análisis económico

### 3.3.2. Plano de campo (distribución de tratamientos)

De acuerdo al espacio disponible los tratamientos con sus respectivas repeticiones quedaron distribuidos e identificados de la manera siguiente:



**Figura 4.** Plano de campo del experimento.

**Cuadro 5.**Tratamientos en estudio.

| Tratamiento (T) | Tiempo (t)   | Densidad (d) |
|-----------------|--------------|--------------|
| t1d1            | Una semana   | 300          |
| t2d1            | Dos semanas  | 300          |
| t3d1            | Tres semanas | 300          |
| t1d2            | Una semana   | 600          |
| t2d2            | Dos semanas  | 600          |
| t3d2            | Tres semanas | 600          |

El número de repeticiones fue de cinco, dando como resultado treinta unidades experimentales, el nivel de significancia utilizado fue de 0.05 aceptable en este diseño.

### 3.3.3. Modelo Matemático.

Modelo estadístico para un experimento factorial, con dos factores A y B, en un diseño completamente al azar:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha_{ij} + e_{ijk}$$

**Dónde:**

$Y_{ijk}$ = es la  $ijk$  – ésima observaciones el  $i$ - ésimo nivel del factor tiempos de compostaje y el  $j$ - ésimo nivel del factor densidad de siembra de lombrices.

$\mu$ = es la media general

$\alpha_i$ = es el efecto del  $j$ - ésimo nivel del factor tiempo de compostaje

$\tau_j$ = es el efecto del  $k$ - ésimo nivel del factor densidad de siembra de lombrices

$\alpha_{ij}$ = es la interacción del  $i$ - ésimo nivel del factor tiempo de compostaje con el  $j$ - ésimo nivel del factor densidad de siembra de lombrices.

$e_{ijk}$ = es el error aleatorio

(Tabla de ANVA en el anexo Cuadro A3).

### **3.3.4. Variables.**

Descripción de las variables estudiadas:

Independiente:

- Tiempos de descomposición (una semana, dos semanas y tres semanas).
- Densidad de siembra de lombrices (300 lombrices y 600 lombrices a la siembra).

Dependientes:

- Producción de lombriabono en kilogramos.
- Calidad nutricional de lombriabono (HR, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, S, Zn, B, pH)
- Reproducción de lombrices (Numero de lombrices al final del experimento).

## **3.4. METODOLOGIA ECONOMICA.**

### **3.4.1. Evaluación económica.**

En toda investigación aquellos tratamientos que pueden presentar los mejores efectos desde el punto de vista estadística, no son siempre los que presentan la mejor relación beneficio-costo, un elemento que es determinante para que un productor seleccione este tipo de material es la rentabilidad que genere la tecnología. Por lo tanto, un análisis económico le permite al productor tomar la mejor opción tecnológica. Esta mejor opción se determina muy fácilmente a través del análisis de presupuesto parcial y beneficio neto.

El tratamiento testigo fue el T2 (tiempo de compostaje de dos semanas y densidad de 300 lombrices) ya que este es el más similar al utilizado por referencias teóricas en ensayos previos (López Torres, 2012); para conocer el tratamiento económicamente más rentable en la producción de lombriabono en la zona urbana y bajo las condiciones de la investigación.

### **Rendimientos medios.**

Consiste en presentar la relación de la producción total de lombriabono en kilogramos de acuerdo a cada tratamiento. Ejemplo, el tratamiento 1 (T1) que consistía en una semana de compostaje y 300 lombrices produjo 14.4 kg de lombriabono.

**Rendimientos ajustados.**

Es el rendimiento medio reducido en un 10% debido a que el manejo realizado en la investigación es más preciso, obteniendo rendimientos ajustados. Ejemplo, el tratamiento 1 (T1) que consistía en una semana de compostaje y 300 lombrices se ajustó a 12.96 kg de lombriabono (14.4-10%).

**Beneficio bruto de laboratorio.**

Se calcula mediante el precio de venta de una libra de lombriabono a precio de mercado (2.25 USD) multiplicado por el rendimiento ajustado.

**Costos que varían.**

Son los costos que varían de un tratamiento a otro, presentando los costos relacionados con los insumos, la mano de obra, la depreciación del equipo por el tiempo utilizado y el uso de energía eléctrica , agua y demás. Ejemplo, total de costos que varían \$22.95 dólares.

**Ingresos adicionales**

Es la diferencia de los beneficios brutos adicionales de los tratamientos alternativos y la disminución de costos que son los beneficios brutos de campo del tratamiento testigo.

**Costos adicionales.**

Es la diferencia de los costos del tratamiento testigo contra cada uno de los tratamientos alternativos.

**Cambio en el ingreso neto.**

Es la diferencia generada a partir de los costos adicionales y los ingresos adicionales esta operación de desarrolla para establecer el tratamiento económicamente más rentable en las condiciones de la investigación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presenta la tabla de los datos resultantes los cuales se obtuvieron de acuerdo a la investigación donde se pesó el lombrifecundo de cada unidad experimental, se contó de forma manual cada lombriz de los 6 tratamientos, se realizó toma de temperatura de los sustratos ofrecidos así como la toma de la humedad por medio del método gravimétrico para luego realizar su respectivo análisis estadístico con el programa INFO STAT además de un análisis descriptivo (Cuadro 6).

**Cuadro 6.**Tabla de resultados para elaboración de análisis estadísticos y descriptivos.

| Tratamiento | Tiempo | Densidad | Produccion Kg | Repeticion | Humedad % | Poblacion | Temperatura °C |
|-------------|--------|----------|---------------|------------|-----------|-----------|----------------|
| 1           | 1      | 1        | 2.6           | 1          | 93.88     | 159       | 22             |
| 2           | 2      | 1        | 2.2           | 1          | 92.65     | 235       | 23             |
| 3           | 3      | 1        | 1.3           | 1          | 69.95     | 455       | 24             |
| 4           | 1      | 2        | 3.1           | 1          | 44.32     | 204       | 21             |
| 5           | 2      | 2        | 3.4           | 1          | 91.71     | 275       | 23             |
| 6           | 3      | 2        | 2.9           | 1          | 83.23     | 396       | 22             |
| 1           | 1      | 1        | 3             | 2          | 54.39     | 105       | 25             |
| 2           | 2      | 1        | 2.6           | 2          | 92.66     | 209       | 24             |
| 3           | 3      | 1        | 3.8           | 2          | 70.21     | 288       | 23             |
| 4           | 1      | 2        | 2.7           | 2          | 123.96    | 150       | 22             |
| 5           | 2      | 2        | 2.6           | 2          | 57.96     | 200       | 23             |
| 6           | 3      | 2        | 2.7           | 2          | 48.51     | 750       | 25             |
| 1           | 1      | 1        | 3.1           | 3          | 42.72     | 256       | 24             |
| 2           | 2      | 1        | 1.7           | 3          | 86.44     | 345       | 21             |
| 3           | 3      | 1        | 3             | 3          | 41.33     | 465       | 22             |
| 4           | 1      | 2        | 3             | 3          | 62.98     | 257       | 23             |
| 5           | 2      | 2        | 2.3           | 3          | 47.77     | 550       | 24             |
| 6           | 3      | 2        | 2.8           | 3          | 40.88     | 1027      | 22             |
| 1           | 1      | 1        | 2.6           | 4          | 95.83     | 217       | 23             |
| 2           | 2      | 1        | 2.3           | 4          | 114.02    | 294       | 26             |
| 3           | 3      | 1        | 3.4           | 4          | 100       | 555       | 24             |
| 4           | 1      | 2        | 1.9           | 4          | 66.03     | 756       | 23             |
| 5           | 2      | 2        | 2.01          | 4          | 79.19     | 770       | 25             |
| 6           | 3      | 2        | 1.94          | 4          | 50        | 798       | 21             |
| 1           | 1      | 1        | 3.12          | 5          | 94.29     | 113       | 23             |
| 2           | 2      | 1        | 3             | 5          | 105.98    | 255       | 25             |
| 3           | 3      | 1        | 2.81          | 5          | 62        | 485       | 21             |
| 4           | 1      | 2        | 3.2           | 5          | 81.98     | 641       | 23             |
| 5           | 2      | 2        | 2.94          | 5          | 96.62     | 755       | 23             |
| 6           | 3      | 2        | 2.8           | 5          | 80.61     | 980       | 25             |

#### 4.1. Análisis de variables biológicas.

##### 4.1.1. Evaluación de la Producción de lombrifecundo.

##### 4.1.2. Análisis de la cantidad de lombrifecundo.

Estadísticamente el factor tiempo de descomposición, la densidad de siembra y la interacción de ellos presentaron iguales efectos sobre la variable producción de abono (con humedad de 25-30%), es decir que las semanas para descomposición del sustrato y el número de lombrices actúan independientemente en la producción de lombrifecundo con un nivel de significancia del 5 % (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Análisis de ANVA de la cantidad de lombriabono.**

| Variable   | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Produccion | 30 | 0,11           | 0,00              | 21,08 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.                | SC      | gl | CM      | F    | p-valor |
|---------------------|---------|----|---------|------|---------|
| Modelo.             | 0,95    | 5  | 0,19    | 0,59 | 0,7093  |
| F Tiempo            | 0,57    | 2  | 0,29    | 0,89 | 0,4241  |
| F Densidad          | 1,9E-03 | 1  | 1,9E-03 | 0,01 | 0,9391  |
| F Tiempo*F Densidad | 0,37    | 2  | 0,19    | 0,58 | 0,5691  |
| Error               | 7,74    | 24 | 0,32    |      |         |
| Total               | 8,69    | 29 |         |      |         |

Los resultados de lombriabono obtenidos con respecto a los tratamientos son bajos en comparación al volumen y peso inicial; pero notablemente existe una disminución de peso durante el desarrollo de la investigación, ya que las frutas y hortalizas están compuestas alrededor de 70 % por agua la cual se pierde del sustrato durante los procesos de compostaje y alimentación de las lombrices.

Según estudios realizados por Rodríguez, *et al.* 2000, con sustratos principalmente estiércoles, se genera una mayor producción de abono. En este estudio no se reportan diferencias significativas; pero si existe una baja producción de abono en comparación a la utilización de estiércoles, lo cual se debe a que la naturaleza de los vegetales es del 80% de agua (Rodríguez, *et al.* 2000), las lombrices aunque estén en diferentes poblaciones (300 y 600) no realizan incremento o disminución en la producción de abono porque el alimento ofrecido es el mismo y en las mismas cantidades (1 kg por semana).

La producción de lombriabono fue de 80.9 kilogramos, obtenidos de treinta cajas (unidades experimentales); el lombriabono se pesó luego que este se liberara de forma natural de la alta humedad (hasta quedar al 25% de humedad).

La producción de abono no está influenciada por la densidad de lombrices en este experimento, ya que de acuerdo a López Torres, 2012, la producción de abono es proporcional a la densidad de lombrices; mediante el experimento realizado con el sustrato de residuos vegetales esta condición no aplica, ya que aunque hayan más lombrices la cantidad de abono no muestra variación en condiciones controladas.

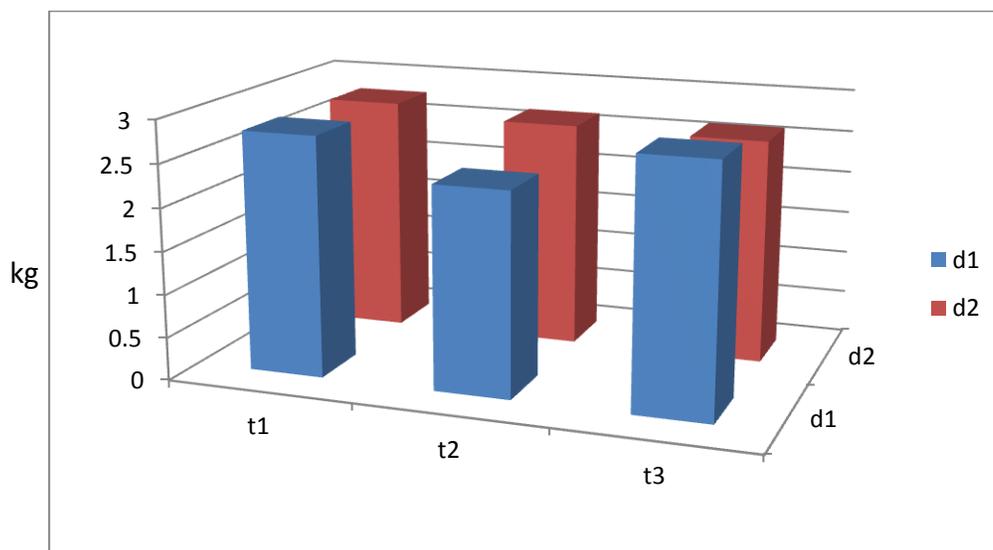
Se realiza un análisis grafico para mayor explicación y discusión de la varible producción de abono que se realiza a continuación.

En el cuadro 8 y figura 5, se expresan los promedios de producción de lombriabono en relación a los tiempos de compostaje y las dos densidades de siembra, mostrando diferencias estadísticamente no significativas; pero con fines de producción de abono y económicamente se pueden recomendar los tratamientos T1, T2 y T3, ya que en estos la densidad de siembra es de 300 lombrices por lo tanto la inversión es menor que en los demás tratamientos y obteniendo resultados similares.

Bajo las condiciones del estudio se logró un promedio de 2.69 kg por caja a los 90 días del ensayo.

**Cuadro 8. Promedios de producción de lombriabono de la interacción tiempo y densidad.**

|    | d1   | d2   |
|----|------|------|
| t1 | 2,8  | 2,78 |
| t2 | 2,36 | 2,65 |
| t3 | 2,86 | 2,62 |



**Figura 5. Promedios de producción de abono en kilogramos de acuerdo a los tres tiempos de compostaje y dos densidades de siembra.**

#### 4.1.4. Análisis de variable densidad de población de lombrices.

Estadísticamente el factor tiempo de descomposición y la densidad de siembra de lombrices mostraron efectos diferentes sobre la variable densidad de lombrices (Cuadro 9), mostrando los mejores efectos el tiempo de tres semanas (Cuadro 11) y la densidad de siembra de 600 lombrices (Cuadro 12) a un nivel de significancia del 5%.

El Cuadro 10 muestra los resultados de población de lombriz según tratamientos esto a razón de una mejor comprensión del fenómeno y la posterior discusión de resultados.

#### Cuadro 9. Análisis de varianza para la densidad de población lombrices.

##### Análisis de la varianza

| Variable  | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Poblacion | 30 | 0,56           | 0,47              | 44,96 |

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.                | SC         | gl | CM        | F     | p-valor |
|---------------------|------------|----|-----------|-------|---------|
| Modelo.             | 1156475,10 | 5  | 231295,02 | 6,15  | 0,0008  |
| F Densidad          | 552977,63  | 1  | 552977,63 | 14,69 | 0,0008  |
| F Tiempo            | 585463,40  | 2  | 292731,70 | 7,78  | 0,0025  |
| F Densidad*F Tiempo | 18034,07   | 2  | 9017,03   | 0,24  | 0,7888  |
| Error               | 903174,40  | 24 | 37632,27  |       |         |
| Total               | 2059649,50 | 29 |           |       |         |

#### Cuadro 10. Promedios de población de lombrices por tratamiento.

| Tratamientos | Promedios de población de lombrices. |
|--------------|--------------------------------------|
| 1            | 170                                  |
| 2            | 267.6                                |
| 3            | 449.6                                |
| 4            | 401.6                                |
| 5            | 510                                  |
| 6            | 790.2                                |

**Cuadro 11. Prueba de contrastes para el factor tiempo.**

**Contrastes**

| F Tiempo   | Contraste | E.E.   | SC        | gl | CM        | F    | p-valor |
|------------|-----------|--------|-----------|----|-----------|------|---------|
| Contraste1 | -437,10   | 150,26 | 318427,35 | 1  | 318427,35 | 8,46 | 0,0077  |
| Contraste2 | -231,10   | 86,76  | 267036,05 | 1  | 267036,05 | 7,10 | 0,0136  |
| Total      |           |        | 585463,40 | 2  | 292731,70 | 7,78 | 0,0025  |

**Coefficientes de los contrastes**

| F Tiempo | Ct.1  | Ct.2  |
|----------|-------|-------|
| 1,00     | 2,00  | 0,00  |
| 2,00     | -1,00 | 1,00  |
| 3,00     | -1,00 | -1,00 |

Se producen los mejores efectos en el tiempo de tres semanas de descomposición del sustrato en 231 unidades más que el tiempo de dos semanas y el de una semana (Cuadro 11).

**Cuadro 12. Prueba de contrastes para la variable densidad de población de lombrices.**

**Contrastes**

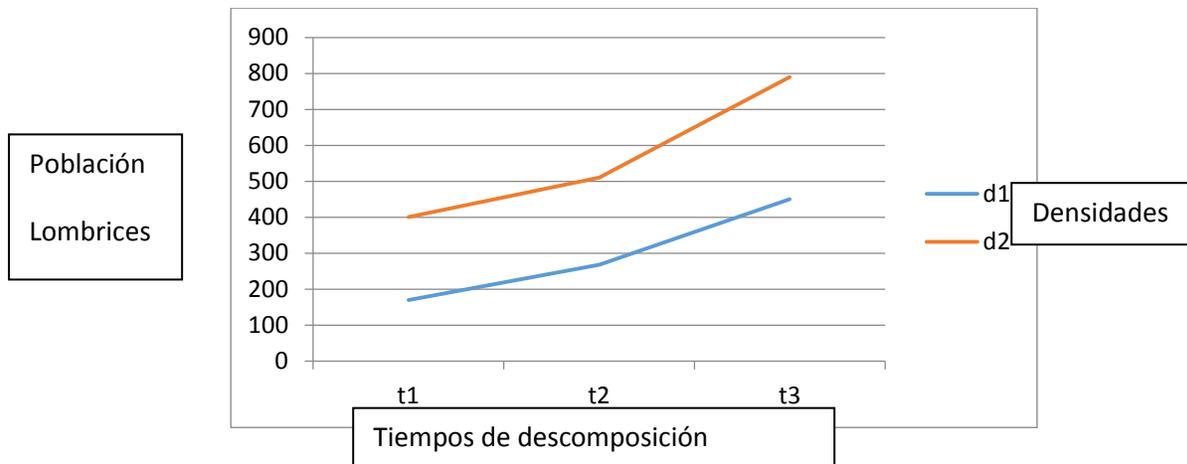
| F Densidad | Contraste | E.E.  | SC        | gl | CM        | F     | p-valor |
|------------|-----------|-------|-----------|----|-----------|-------|---------|
| Contraste1 | -271.53   | 70.84 | 552977.63 | 1  | 552977.63 | 14.69 | 0.0008  |
| Total      |           |       | 552977.63 | 1  | 552977.63 | 14.69 | 0.0008  |

**Coefficientes de los contrastes**

| F Densidad | Ct.1  |
|------------|-------|
| 1.00       | 1.00  |
| 2.00       | -1.00 |

La mayor población se produjo en la densidad de 600 lombrices logrando 271 lombrices más que el otro nivel, se determinó mediante la prueba de contrastes para ambos factores como se muestra en el Cuadro 12.

En la figura 6 se muestra los resultados de la reproducción de lombrices de acuerdo a tiempo de descomposición y las densidades de siembra.

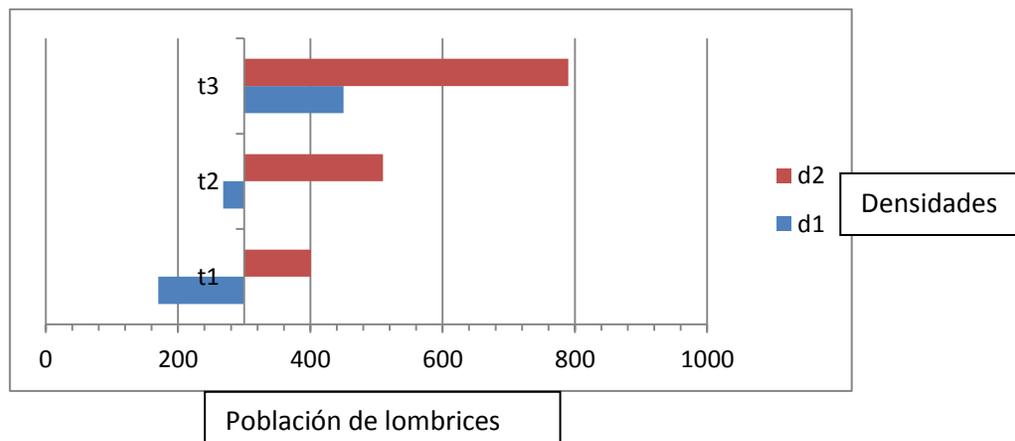


**Figura 6. Promedio de lombrices de acuerdo a tiempo de descomposición y sustrato.**

Se observa que los promedios de lombrices están de forma ascendente de acuerdo al tiempo de compostaje y la densidad de siembra de lombrices, esto significa que de acuerdo a la descomposición de los desechos vegetales citados por Turruebla, *et al*, 2002, factores como temperatura adecuada (18 – 27 grados centígrados), rangos de humedad aceptables (de 55% a 75 %) y pH (cercanos a 7) se van desarrollando condiciones óptimas a medida que el tiempo de compostaje aumenta para el buen desarrollo y reproducción de las lombrices; los cuales se proporcionaron de mejor forma en el sustratos de tres semanas (Figura 6).

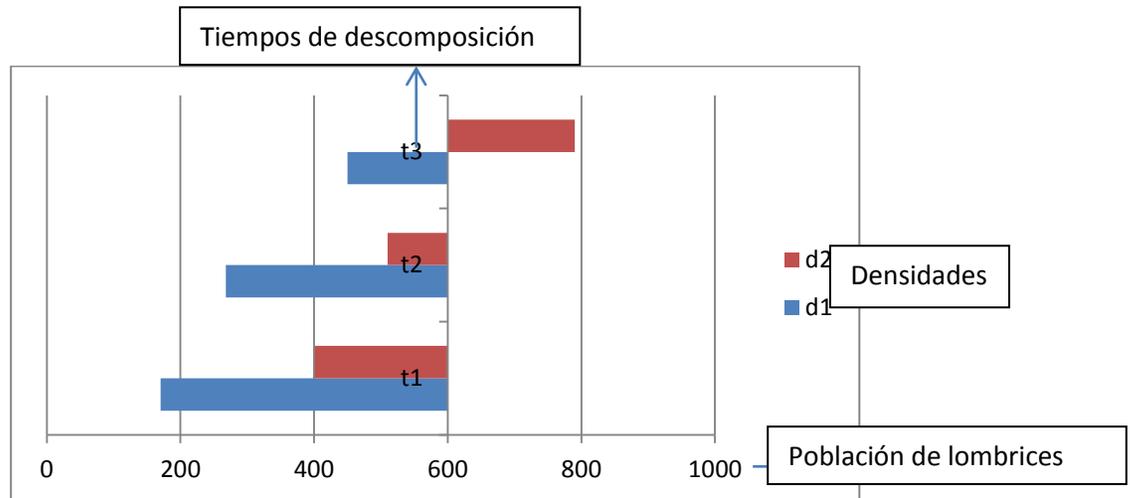
Se relaciona la cantidad de lombrices sembrada y la resultante (reproducción) de acuerdo al tiempo de compostaje de los sustratos, (Figura 7).

En la Figura 7 a partir de 300 lombrices sembradas el tiempo de compostaje 1 y 2 hubo una disminución de individuos y solamente en el tiempo 3 existió reproducción.



**Figura 7. Relación de reproducción a la siembra de 300 lombrices.**

En la figura 8, Cuando se sembraron 600 lombrices al inicio del experimento el único tiempo donde se muestra aumento de individuos es el tiempo de compostaje de 3 semanas donde hubo el mayor aumento de lombrices que los demás tratamientos en estudio, debido a condiciones de humedad (cuadro 4) más favorables por el tiempo de compostaje ya desarrollado estando en fase de enfriamiento (Figura 3).



**Figura 8. Relación de reproducción a la siembra de 600 lombrices.**

Pérez Ascencio 2010, citado por Torres Alas 2012, según investigaciones previas, menciona que el alimento está directamente relacionado con la reproducción de la lombriz, concluye que el tipo de alimento tiene influencia directa en el número de lombrices; lo que permite mencionar que existe una relación entre el equilibrio reproductivo y el alimento, para este ensayo se relaciona a las frutas de temporada (mango, jocote, sandía, melón. entre otros) ya que estas fueron ofrecidas a las lombrices, además menciona que el tamaño de la partícula produce efecto en la alimentación ya que esta succiona el alimento por no poseer dientes (Clark, 2000), para el ensayo el alimento se compostó lo que provocó que las partículas disminuyeran de tamaño por efecto mismo de compostaje; pero además proporcionaron al sustrato gran cantidad de agua debido a su contenido inicial (Cuadro 4).

Por lo tanto el tipo de alimento (frutas y verduras), su alto contenido de humedad y su tamaño de partícula (provocado por compostaje) influenciaron según la teoría la reproducción de la lombriz en el ensayo.

Según investigaciones de López Torres 2012, recomendó trabajar con poblaciones no mayores a 500 lombrices por 0.015 m<sup>3</sup>, pues densidades más altas pueden reducir su capacidad de trabajo y por consecuencia su reproducción, en el presente ensayo se aplicó un tratamiento de 600 lombrices lo cual afectó aspectos de reproducción debido a la alta densidad, presión espacial y territorialidad.

Los tratamientos tres y seis son los únicos que experimentaron reproducción ya que se produjo un aumento de 149 y 190 individuos a las 90 días sobre la siembra original de lombrices respectivamente; los tratamientos uno, dos, cuatro y cinco, lejos de aumentar redujeron su número original; esto se debió según la investigación de Díaz *et al.* 2009 que el pH de los tratamientos en un inicio y al momento de ser ofrecidos se presenta con un alto grado de acidez entre los valores de 3 y 4.5 ver figura A 7; y no así el t6 que presentó valores mayores a 5 de pH; por lo tanto si se quiere aprovechar de mejor forma el pie de cría de lombriz se debe ofrecer sustrato compostado de tres o más semanas ya que mientras más se realiza el proceso de composta el pH aumenta.

La densidad influyó directamente en la reproducción de las lombrices, según López Torres, 2012, La experiencia en este campo demostró que *Eisenia foetida L.* tiene una alta capacidad de reproducirse; por lo tanto es recomendable trabajar con densidades de población entre 100 y 500 lombrices por 0.036 m<sup>3</sup>, pues densidades más altas pueden reducir su capacidad de trabajo y por tanto su reproducción. En este experimento se evaluó una densidad de 600 lombrices en 0.036 m<sup>3</sup> (volumen de caja de durapax) donde se reflejó una notable disminución de la población por la alta densidad y presión espacial a la que las lombrices fueron expuestas.

#### **4.1.6. Análisis químico.**

El análisis químico se efectuó en el laboratorio de Química Agrícola, del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), con el objetivo de evaluar el lombríabono que tenía mejores características físico químicas luego de realizarse el ensayo. (Cuadro. A1)

**Cuadro 13. Análisis de contenido químico de Lombriabono.**

| Identificación           | % de humedad | % de N | % de P | % de K | % de Ca | % de Mg | % de Fe | mg/Kg de Cu | mg/kg de Mn | % De S | mg/kg de Zn | mg/kg de B | pH   |
|--------------------------|--------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------------|-------------|--------|-------------|------------|------|
| Lombriabono de 1 semana  | 8.68         | 1.94   | 0.67   | 1.82   | 1.62    | 0.39    | 0.79    | 10          | 210         | 0.56   | 161         | 50         | 9.59 |
| Lombriabono de 2 semanas | 8.47         | 1.9    | 0.74   | 1.71   | 1.47    | 0.4     | 0.8     | 7           | 236         | 0.19   | 279         | 49         | 9.35 |
| Lombriabono de 3 semanas | 8.14         | 1.9    | 0.62   | 1.62   | 1.85    | 0.39    | 1.2     | 6           | 258         | 0.25   | 150         | 51         | 9.7  |

**Fuente: Laboratorio de Química Agrícola, Centro Nacional de tecnología Agropecuaria (CENTA). (Cuadro A1)**

De acuerdo al análisis de laboratorio y Aguirre 2013, el contenido de los nutrientes se encuentra en concentraciones aceptables, si lo comparamos con otras fuentes de materia orgánica para la obtención de lombriabono (Cuadro 13).

En el caso de nitrógeno es más alto en comparación con lombriabono de vacuno; sin embargo el fósforo es bajo comparado con lombriabono proveniente de estiércol de vacuno debido a que la fuente alimenticia es a base de estructuras vegetales en las que no se da la acumulación del elemento.

El potasio se encuentra en cantidades aceptables y es muy importante ya que este forma parte de enzimas y azúcares, por lo que hay mayor contenido en las otras estructuras en las que se producen azúcares.

El calcio y magnesio pareciera que están bajos, sin embargo el pH es básico y estos elementos participan en esta característica.

La mayoría de los elementos nutricionales de lombriabono se encuentran en la misma proporción en los tres tipos de abonos diferenciados por el tiempo que tuvo el sustrato en compostaje, a excepción del azufre que disminuye por efectos de la fermentación, reducción y volatilización y que bajo esa lógica se encuentra en el abono producido por el sustrato compostado de una semana el cual ha tenido menor volatilización que los de mayor tiempo.

Cuadro 14. Porcentaje de nutrientes de lombriabono a base de estiércoles de origen animal.

| Estiércol de origen animal | NITROGENO<br>% | FOSFORO<br>% | POTASIO<br>% | CALCIO<br>% | MAGNESIO<br>% |
|----------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|---------------|
| Lombriabono de vacuno      | 1.8            | 2.27         | 0.95         | 6.23        | 0.66          |
| lombriabono de conejo      | 7.76           | 2.95         | 1.18         | 7.29        | 0.97          |

Fuente: (Rodríguez Quiroz *et al.* 2000)

En cuanto a los micro elementos estos están en ppm (mg/Kg), se encuentran en trazas menores pero en concentraciones dentro de la normalidad.

El pH que es básico en los tres tratamientos con respecto a los producidos a base de estiércoles, este tipo de abono puede ser utilizado como enmienda en suelos acidos para aproximarlos a pH neutros (Aguirre, 2013).

## 4.2. Evaluación de variables físicas.

A continuación se presenta un análisis de las variables temperatura de sustrato, humedad y pH del sustrato al inicio, durante y final del experimento.

Estas variables aunque no fueron consideradas como tales al experimento, pero influyen de forma directa en las variables en estudio: Producción de abono y reproducción de lombrices; por lo tanto se realiza esta evaluación para poder dar respuesta a los efectos en el estudio principal.

### 4.2.1. Temperaturas del sustrato

Se realizó un análisis estadístico donde se evaluó el efecto de los factores tiempo de descomposición y densidad de siembra (Cuadro 15).

<sup>1</sup>Aguirre, C. 2013. Análisis de resultados de lombriabono a base de residuos vegetales urbanos compostados en tres diferentes tiempos y dos densidades de siembra de *Eisenia foetida Savigny*, San Salvador, Universidad de El Salvador (Correo electrónico).

**Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable temperatura del sustrato.**

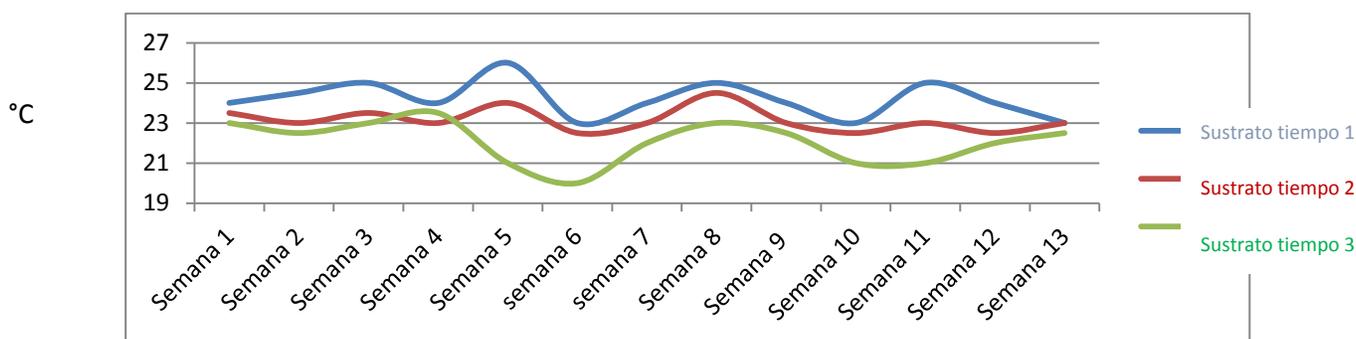
**Análisis de la varianza**

| Variable    | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-------------|----|----------------|-------------------|------|
| Temperatura | 30 | 0,13           | 0,00              | 6,05 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.                | SC    | gl | CM   | F    | p-valor |
|---------------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo.             | 6,97  | 5  | 1,39 | 0,71 | 0,6229  |
| F Densidad          | 0,83  | 1  | 0,83 | 0,42 | 0,5213  |
| F Tiempo            | 4,27  | 2  | 2,13 | 1,08 | 0,3540  |
| F Densidad*F Tiempo | 1,87  | 2  | 0,93 | 0,47 | 0,6279  |
| Error               | 47,20 | 24 | 1,97 |      |         |
| Total               | 54,17 | 29 |      |      |         |

Estadísticamente el factor tiempo de descomposición, densidad de siembra y la interacción de los factores anteriores no tienen efectos sobre la variable temperatura del sustrato a un nivel de significancia de 0.05 %; debido a que no hay variación no se realizan pruebas estadísticas, pero se expresan sus valores en forma gráfica (Figura 9).



**Figura 9. Temperaturas del sustrato previo a la alimentación la lombriz.**

En la figura 9 se observa que la temperatura se comportó constante en el sustrato tiempo 1 de 23- 26 ° C, en el sustrato tiempo 2 de 22.5- 24 °C; y el sustrato tiempo 3 de 20- 23 °C; según Peña Turruella, *et al.* 2002 las diferentes fases que ocurren en los residuos vegetales urbanos al compostarse (Figura 9) ; el sustrato 1 que tiene una semana de descomposición arrancan en su fase termófila donde se pueden alcanzar los máximos de temperatura por la acción microbiana principalmente de hongos y bacterias, y el alimento de la semana tres de descomposición, no produjo temperaturas altas debido a que su fase termófila había pasado a enfriamiento produciendo una disminución en la temperatura del sustrato y generando un ambiente más adecuado para lombriz; Según Fundación Hogares Juveniles Campesinos 2005, menciona que las temperaturas optimas que garantizan mejor actividad en los procesos biológicos de las lombrices de tierra están entre 18 y 25 °C; las temperaturas inferiores a 10 °C reducen su actividad y por debajo de 4°C todos sus procesos se interrumpen y entran en letargo.

#### 4.2.2. Análisis de la humedad del sustrato ofrecido a las lombrices.

Se determinó la humedad, por el método gravimétrico (Figura A9), En El laboratorio del Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador (Figura A8).

Para ello se realizó un análisis de varianza para conocer los efectos del tiempo de descomposición y la densidad de siembra sobre la humedad relativa de los sustratos (Cuadro 16).

**Cuadro 16. Análisis de varianza para la humedad del sustrato ofrecido a las lombrices.**

##### Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Humedad  | 30 | 0,25           | 0,09              | 29,37 |

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.                | SC       | gl | CM      | F    | p-valor |
|---------------------|----------|----|---------|------|---------|
| Modelo.             | 3950,32  | 5  | 790,06  | 1,60 | 0,1990  |
| F Densidad          | 859,75   | 1  | 859,75  | 1,74 | 0,1999  |
| F Tiempo            | 2383,67  | 2  | 1191,83 | 2,41 | 0,1113  |
| F Densidad*F Tiempo | 706,90   | 2  | 353,45  | 0,71 | 0,4996  |
| Error               | 11873,47 | 24 | 494,73  |      |         |
| Total               | 15823,79 | 29 |         |      |         |

Estadísticamente el factor tiempo de descomposición, densidad de siembra y la interacción de los factores en estudio no tienen efectos sobre la variable humedad de los sustratos ofrecidos a un nivel de significancia de 0.05 %

Se observa que el tratamiento dos, tiene un contenido de humedad mayor que los demás tratamientos, alcanzando un 98%. Además los tratamientos uno, cuatro y cinco se encuentran en los valores de 76.22%, 75.85% y 74.65% de humedad respectivamente. Mientras que el tratamiento tres es el de menor humedad con 68.70%.

De acuerdo a Díaz et al. 2009, la humedad en el sustrato se debe mantener entre el 70 y 80%, debido a que la lombriz succiona el alimento en forma semi sólida, por no poseer dientes. En relación a la investigación el sustrato proporcionado oscilo con una humedad de 60 – 98 %; condición que favorecía la alimentación de las lombrices.

Estudios realizados bajo otras condiciones, menciona Duran 2006, que la humedad debe estar entre un 80 y 85%, ya que una humedad arriba de este rango afecta la reproducción de la lombriz; sin embargo esta puede vivir temporalmente con mucha humedad pero no trabaja ni se reproduce; por tanto los sustratos tienen una humedad adecuada para la reproducción

de la lombriz a excepción del sustrato de dos semanas de compostaje, reportando una humedad de 98 %, que afecta el desarrollo adecuado de la lombriz y su reproducción tal como se muestra en el análisis de la variable reproducción donde los tratamientos T1, T2, T4 y T5 mostraron disminución de individuos en comparación a la densidad sembrada al inicio del ensayo.

Además según Cerdas, C. 1996 La humedad y la alimentación se consideran como los factores más importantes para las lombrices, estos animales no tienen un mecanismo de conservación de agua adecuada, no obstante que requieren de humedad en la pared corporal para su respiración y pierden mucha agua en la orina, sin embargo resisten la pérdida de agua de hasta un 75% como mecanismo de defensa; ante la falta de humedad, la lombriz reduce al máximo su superficie corporal.

según el Instituto Agro técnico 2009, los valores próximos a saturación están en el 85 % dentro del sustrato ofrecido a la lombriz, además el sistema respiratorio de la lombriz funciona mediante un intercambio gaseoso que se lleva cabo en la superficie del cuerpo de la lombriz, y si está en un sustrato saturado el intercambio gaseoso se reduce y a la misma vez se reduce el metabolismo de ella con la posibilidad de causar mortalidad en la población de lombriz y por consiguiente el área productiva representa una disminución en la producción de abono y pie de cría; para lograr las condiciones adecuadas en el ensayo se proporcionó un desnivel a cada caja (unidad experimental) y así se drenó el exceso de lixiviado.

#### **4.2.3. pH del sustrato ofrecido a las lombrices (Figura A7).**

Estadísticamente la densidad de siembra de la lombriz y el tiempo de compostaje no mostraron efectos diferentes sobre el pH de los sustratos ofrecidos previos a la alimentación de las lombrices (Cuadro 17);

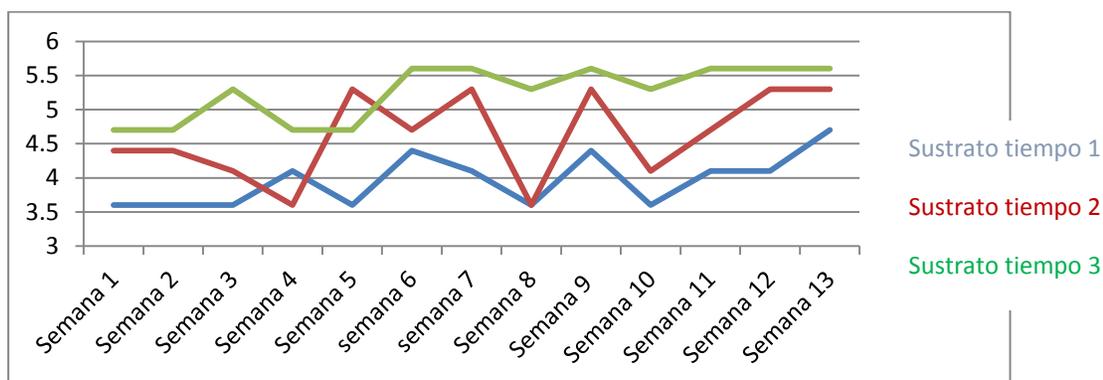
**Cuadro 17. Análisis de varianza para pH en sustrato.**

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| pH       | 30 | 0.20           | 0.03              | 1.79 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.                | SC   | gl | CM      | F    | p-valor |
|---------------------|------|----|---------|------|---------|
| Modelo.             | 0.03 | 5  | 0.01    | 1.19 | 0.3457  |
| F Tiempo            | 0.01 | 2  | 4.3E-03 | 0.96 | 0.3960  |
| F Densidad          | 0.01 | 1  | 0.01    | 1.19 | 0.2871  |
| F Tiempo*F Densidad | 0.01 | 2  | 0.01    | 1.41 | 0.2643  |
| Error               | 0.11 | 24 | 4.5E-03 |      |         |
| Total               | 0.13 | 29 |         |      |         |

El pH juega un papel muy importante en el desarrollo de las lombrices ya que afecta procesos metabólicos al verse alterado su entorno a pH ácidos en el caso de los sustratos ofrecidos, para los abonos en general es de mucha importancia ya que pueden ayudar funcionar como enmiendas que corrijan acides o alcalinidad en los suelos, en este ensayo se presentan los datos tomados semanalmente a los sustratos ofrecidos como se muestra a continuación (Figura 10).



**Figura 10. pH del sustrato previo a la alimentación de lombriz.**

El compostaje se comporta de acuerdo a tres principales etapas que están relacionadas al pH del sustrato, el sustrato tiempo 1 se encuentra en la etapa termófila donde hay procesos metabólicos que generan gran acides, razón por la cual presenta valores ácidos de 3.6-4.7 pH; el sustrato tiempo 2 se encuentra saliendo de la etapa termófila y entrando a enfriamiento donde aun hay procesos de acides bajando los niveles a 4.5-5.3 pH;

Finalmente el sustrato tiempo 3 se encuentra en la etapa de enfriamiento, por eso alcanza los niveles menores de acides 4.7-5.8 pH, donde se encuentran los mejores resultados en reproducción de la lombriz.

Díaz et al. 2009, mencionan que el pH óptimo que debe tener el sustrato para la crianza de lombrices variar entre 4.5 a 8 pH de lo contrario las lombrices al estar en un sustrato acido pueden disminuir las tasas de crecimiento, reproducción y conversión alimenticia según los resultados la producción de abono mejora en la semana dos y tres de alimentación donde los sustratos se encuentran en los rangos más adecuados; Según Fundación Hogares Juveniles Campesinos 2005, en el manual Cría de la lombriz de tierra una alternativa ecológica rentable , menciona que no se aconsejan sembrar la lombriz cuando el pH es acido (por debajo de 5,5 pH); pero según el estudio se demuestra que la lombriz puede sobrevivir en condiciones de pH de hasta 3.5; pero se ve afectada la reproducción como se muestra en los tratamientos T1, T2, T4 y T5 donde no hubo reproducción de acuerdo a la cantidad inicial de lombrices sembradas (300 y 600 lombrices)

(Figura 10).

Con respecto al análisis químico al tomarse el pH en las muestras de lombriabono ya maduro (3 semanas después del ensayo) este presento alta alcalinidad (8-9); debido a que la lombriz neutraliza en su esófago el pH del alimento, segregando carbonato de calcio por medio de las glándulas de Morren. (Agroflor, sf.)

## V. ANALISIS ECONOMICO.

Para realizar la evaluación económica del proyecto, se desarrolló el cálculo del presupuesto parcial y de beneficios netos (Cuadro 18).

**Cuadro 18. Presupuesto parcial y beneficios netos.**

| Precio de mercado de kilogramo de abono \$2.25 USD |                |                |                |                |                |                |
|----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| TABLA PRESUPUESTO PARCIAL Y BENEFICIOS NETOS       |                |                |                |                |                |                |
| Concepto                                           | T1             | T3             | T4             | T5             | T6             | T0=(T2)        |
| Rendimiento medio                                  | 14.4           | 14.3           | 13.9           | 13.2           | 13.1           | 11.8           |
| Rendimiento ajustado (10%)                         | 12.96          | 12.87          | 12.51          | 11.88          | 11.79          | 10.62          |
| Beneficios brutos de campo                         | \$28.80        | \$28.60        | \$27.80        | \$26.40        | \$26.20        | \$23.60        |
| <b>COSTO VARIABLES</b>                             |                |                |                |                |                |                |
| Caja de durapax                                    | \$1.25         | \$1.25         | \$1.25         | \$1.25         | \$1.25         | \$1.25         |
| Cubeta                                             | \$1.00         | \$1.00         | \$1.00         | \$1.00         | \$1.00         | \$1.00         |
| Guantes de látex                                   | \$1.04         | \$1.04         | \$1.04         | \$1.04         | \$1.04         | \$1.04         |
| Palas                                              | \$1.16         | \$1.16         | \$1.16         | \$1.16         | \$1.16         | \$1.16         |
| Zaranda                                            | \$3.00         | \$3.00         | \$3.00         | \$3.00         | \$3.00         | \$3.00         |
| Pie de cría                                        | \$7.50         | \$7.50         | \$15.00        | \$15.00        | \$15.00        | \$7.50         |
| Mano de obra                                       | \$8.00         | \$8.00         | \$8.00         | \$8.00         | \$8.00         | \$8.00         |
| <b>Total cv</b>                                    | <b>\$22.95</b> | <b>\$22.95</b> | <b>\$30.45</b> | <b>\$30.45</b> | <b>\$30.45</b> | <b>\$22.95</b> |
| <b>GANANCIA E INGRESOS ADICIONALES</b>             |                |                |                |                |                |                |
| Ingresos adicionales                               | \$28.80        | \$28.60        | \$27.80        | \$26.40        | \$26.20        | \$23.60        |
| disminución de costos                              | \$22.95        | \$22.95        | \$22.95        | \$22.95        | \$22.95        | \$22.95        |
| <b>Total de ingresos adicionales (A)</b>           | <b>\$5.85</b>  | <b>\$5.65</b>  | <b>\$4.85</b>  | <b>\$3.45</b>  | <b>\$3.25</b>  | <b>\$0.65</b>  |
| <b>Costos adicionales</b>                          |                |                |                |                |                |                |
| Costos adicionales                                 | \$22.95        | \$22.95        | \$30.45        | \$30.45        | \$30.45        | \$22.95        |
| Disminución de ingresos                            | \$23.60        | \$23.60        | \$23.60        | \$23.60        | \$23.60        | \$23.60        |
| <b>Total de costos adicionales (B)</b>             | <b>\$0.65</b>  | <b>\$0.65</b>  | <b>\$6.85</b>  | <b>\$6.85</b>  | <b>\$6.85</b>  | <b>\$0.65</b>  |
| <b>Cambio en el ingreso neto</b>                   | <b>\$5.20</b>  | <b>\$5.00</b>  | <b>-\$2.00</b> | <b>-\$3.40</b> | <b>-\$3.60</b> | <b>\$0.00</b>  |

Los tratamientos que presentan un beneficio con respecto al tratamiento testigo (T2= dos semanas de compostaje y 300 lombrices) son: T1 (una semana de compostaje y 300 lombrices) y el T3 (tres semanas de compostaje y 600 lombrices), no así el tratamiento T4, T5 y T6 que presentan déficit producto del costo del pie de cría y manejo por más tiempo.

Como se puede observar el cambio de tecnología nos produce un beneficio de USD 5.20 con respecto al testigo pero además el tratamiento alterativo 3 produce beneficios de USD 5.00.

## VI. CONCLUSIONES

1. Estadísticamente los tiempos de descomposición de una dos y tres semanas aplicados a los sustratos de residuos vegetales urbanos para alimentación de lombriz (*Eisenia foetida L.*), no influyen el rendimiento con respecto a la producción de abono.
2. Los tratamientos tres y seis son los únicos que experimentaron reproducción ya que se produjo un aumento de 149 y 190 individuos a los 90 días sobre la siembra original de lombrices respectivamente.
3. Para la producción de lombriabono y pie de cría es fundamental someter los residuos vegetales al proceso de compostaje al menos tres semanas.
4. Con base al análisis bromatológico el abono producido por los sustratos de residuos vegetales urbanos presento un contenido más bajo en fosforo y un pH básico con respecto al producidos a base de estiércoles.
5. Los residuos compostados de una semana y la densidad de 300 lombrices para la producción de abono, resultan económicamente los mejores beneficios.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

1. Los residuos vegetales urbanos deben ser compostados para poder ser ofrecido en la alimentación de las lombrices y producir abono.
2. Para la producción de lombriabono a baja escala se recomienda compostar los desechos vegetales por una semana.
3. Recolectar los lixiviados y realizar investigaciones sobre sus características nutricionales.
4. La cantidad de lombriabono que se debe aplicar por cultivo y superficie de área dependerá de la naturaleza del alimento ofrecido en la alimentación de las lombrices.
5. Realizar investigaciones sobre gradientes de escurrimiento de los lixiviados de los desechos vegetales al momento de ser compostados los desechos vegetales.
6. Evaluar desechos vegetales urbanos para volúmenes mayores y cercanos a las municipalidades.

## VIII. BIBLIOGRAFIA.

Aguirre, C. 2013, Análisis de resultados de lombricultivo a base de residuos vegetales urbanos compostados en tres diferentes tiempos y dos densidades de siembra de *Eisenia foetida Savigny*, San Salvador, Universidad de El Salvador, (correo electrónico)

AGROFLOR. sf. Manual de lombricultura. Villarica, CL. AGROFLOR LOMBRICULTUTA.

Alas Rosales, R. C.; Alvarenga Hernández, A. M. C. 2002. Evaluación de sustratos de origen animal y vegetal en la producción de humus y carne de lombriz (*Eisenia foetida*). Ingeniero Agrónomo. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador. 102p.

Alvares de la Puente, J.M. sf. Manual de compostaje para agricultura ecológica. Andalucía, ES. Consejería de agricultura y pesca.

Benedict, A. 1988. Composting Municipal Sludge: A Technology Evaluation, Pollution Technology Review. Trad. ND Linares. New Jersey, US. 10-11 p.

Cacciamani, M. 2004. Lombricultura: una actividad ecológica y rentable. 2ª edición. Buenos Aires. Hemisferio Sur. 80p.

Canovas, A. 1993. Tratado de Agricultura Ecológica. (en línea). Ed. Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería. Almería. 190 pp. Consultado 15 may. 2012. Disponible en: <http://www.cl/userfiles/file/compostaje.pdf>

Castillo, H. (sf). La Lombricultura. Fertilización orgánica. Editado por Alter Tec. Guatemala, Guatemala. 153-167p.

Cebrián, M.; Pérez, E.; Cuerda, E.; Fernández, A. (sf). Compostaje de lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales en la industria agroalimentaria. Alava. España.

Cerdas, C. 1996. Potencial de la lombriz/ Elementos básicos para su desarrollo/Claudia Martínez Cerdas/Dr. Alfredo Carballo Quiros/México/Lombricultura Técnica Mexicana/ Pág. 27-30-31-34.

Cerisola, C.I. 1989. Lecciones de Agricultura Biológica. (en línea). Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Consultado el 12 de junio de 2013. Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

Cervantes, C. A. 2003. Manual de Laboratorio de Edafología. Tercera Edición. Imprenta Nacional. 77p.

Clark, A. 2000. Fertilización orgánica. Manual técnico IICA- CLUSA. San Salvador, SV. 13-45p.

CRISTALES, O. 2000. Módulo de capacitación de la Lombricultura. Fundación ABA. San Salvador, SV. 15-58 p.

Dalzell, H.W.; Biddlestone, A.J.; Gray, K.R. y Turairajan, K. 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del compost en ambientes tropicales. Boletín de suelos de FAO N° 56. 178p.

Díaz, D.; Cova, L. J.; Castro, A.; García, D. E.; Perea, F. 2009. Dinámica del crecimiento y producción de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) en cuatro sustratos a base de estiércol bovino. 17p.

Durán, L. 2006. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Universidad de los Andes, Trujillo, Venezuela. 12p.

ECOTRANS, 2006. Segundo censo nacional de desechos Sólidos Municipales. San Salvador, SV.

FAO. 2001. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000 – informe principal. Estudio FAO: Montes Núm. 140. Roma, Italia. (Disponible también en: [www.fao.org/forestry/site/7949/en/](http://www.fao.org/forestry/site/7949/en/)).

Fraire Sierra, L. 2008. Evaluación de la Lombriz *Eisenia foetida* en cuatro sustratos Orgánicos en el centro de Tabasco. Tabasco, Mx. (Disponible también en: <http://www.itzonaolmeca.edu.mx/difusion/INV4.PDF>).

Ferruzi C. 1987. Manual de Lombricultura. Madrid. España. Mundi-Prensa.138 p.

Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2005. Cria de la lombriz de tierra una alternativa ecológica rentable. Ramirez Aza, M. Bogota, D. C. Colombia. San Pablo.

Hernández Borquez; Y. 2005. Manejo de aguas y desechos residuales con lombricultura. Universidad de Chile. CH.

Leiva Bautista, C.C. 2000. Estudio de la Opinión de los Estudiantes de la Universidad Francisco Gavidia sobre la Separación y Reciclaje de la Basura. Revista electrónica Theorethikos. Unidad de investigaciones, Universidad Francisco Gavidia. San Salvador, S.V. (Disponible en: <http://www.ufg.edu.sv/ufg/theorethikos/octubre20/cientifico04.htm>).

López Torres. A.J. 2012. Evaluación de cinco densidades poblacionales y dos fuentes de alimentación en la producción de lombríbono y carne de lombriz roja Californiana (*Eisenia foetida*). Tesis Ingeniero Agrónomo. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador.

Madrid, F.; Cabrera, F.; Murillo, J. M. 2001. Caracterización de los compost de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva). Instituto de Recursos Naturales y Agro biología de Sevilla, Es.

Mendoza, M.; Sánchez Vigil, J.A. 2012. Evaluación físico-química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Tesis Ingeniero Agrónomo. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador.

Mendoza Gómez, L. 2008. Manual de Lombricultura. Secretaria de Educación Pública. Chiapas, Mx. (Disponible también en: [http://www.unisarc.edu.co/kickstart/images/Unisarc\\_Documentos/Biblioteca/Libros\\_Digitales/manuallombricultura.pdf](http://www.unisarc.edu.co/kickstart/images/Unisarc_Documentos/Biblioteca/Libros_Digitales/manuallombricultura.pdf)).

Peña Turruela, E.; Carrión Ramírez, M.; Martínez, F.; Rodríguez Nodals, A.; Companioni Concepción, N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la producción urbana. Instituto de Investigaciones Fundamentales en la Agricultura Tropical, INIFAT. La Habana, Cb. (Disponible en: [www.redmujeres.org/.../manual\\_abonos\\_agricultura\\_urbana.pdf](http://www.redmujeres.org/.../manual_abonos_agricultura_urbana.pdf)).

Pérez Ascencio, M.A. 2010 Uso de sustratos orgánicos a base de (*Eisenia foetida*) para la fertilización de suelos (Entrevista) UES, Facultad de Ciencias Agronómicas San Salvador, (Comunicación personal).

Rodríguez Quiroz, G.; Armenta Bojórquez, A.D.; Valenzuela Quiñonez, W.; Camacho Báez, J.R.; Esparza Leal, H.M. 1999-2000. Evaluación de Sustratos Orgánicos para la Producción de Lombricomposta con *Eisenia foetida*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR. Sinaloa, Mx. (Disponible en: [www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/pdf/vol1num2/lombriz.PDF](http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/pdf/vol1num2/lombriz.PDF))

Rodríguez, A.R. 1996. Producción y Calidad de Abono Orgánico por Medio de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) y su Capacidad Reproductiva. Instituto Hondureño del Café, IHCAFE. Olancho, Hn. (Disponible en: [www.fao.org/docs/.../Producción%20y%20Calidad%20de%20Abono.pd...](http://www.fao.org/docs/.../Producción%20y%20Calidad%20de%20Abono.pd...))

Schuldt, M. 2007. Lombricultura, desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de terperie. Revista Electrónica Veterinaria. Volumen III. Provincia de Santa Cruz. 1(1): 10p.

Santillan, R. 1997. Curso taller de agricultura orgánica; manual de Lombricultura. Zamorano, Honduras. 37p.

Tineo, B. 1994. Crianza y manejo de la lombriz con fines agrícolas. Turrialba, CR. CATIE. 18 p.

Verón, R; Miceli, G; Iglesias, M.C. (sf).Experiencia de manejo del compostaje de residuos domiciliarios para su utilización en la producción de lombricomposto. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Noroeste. AR. 2p.

## IX. ANEXOS

Cuadro A1. Analisis químico realizado por el laboratorio de Química Agrícola de CENTA y los componentes analizados.

San Andrés, 14 de agosto de 2013

Dr. Mario Ernesto Parada Jaco  
Gerente de Investigación

Muestras: Lombrifabonos  
Lugar de Recolección: San Andrés

Fecha de recolección de muestra: **22/07/13**      Fecha de recibido: **25/07/13**





**Laboratorio de Química Agrícola FAMILIAR**  
Km 33 1/2 carretera a Santa Ana, La Libertad, El Salvador, C.A  
Tel.: 2302-02-00 ext. 259

| # de Lab. | Identificación         | RESULTADO (Base Seca) |      |      |      |      |      |      |          |          |      |          |         |
|-----------|------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|------|----------|---------|
|           |                        | % Humedad             | % N  | % P  | % K  | % Ca | % Mg | % Fe | mg/Kg Cu | mg/Kg Mn | % S  | mg/Kg Zn | mg/Kg B |
| 159       | Lombrifabono 1ª semana | 8.68                  | 1.94 | 0.67 | 1.82 | 1.62 | 0.39 | 0.79 | 10       | 210      | 0.56 | 161      | 9.59    |
| 160       | Lombrifabono 2ª semana | 8.47                  | 1.90 | 0.74 | 1.71 | 1.47 | 0.40 | 0.80 | 7        | 236      | 0.19 | 279      | 9.35    |
| 161       | Lombrifabono 3ª semana | 8.14                  | 1.90 | 0.62 | 1.62 | 1.85 | 0.39 | 1.20 | 6        | 258      | 0.25 | 150      | 9.70    |

Nota: Este informe de análisis se 3.11basa en una muestra de producto recibido por el laboratorio, el proceso del muestreo ha sido responsabilidad del interesado

**Químicos Analistas:** Lic. Amanda de Arévalo  
Lic. Miriam Alvarez de Amaya  
Lic. Hector Shunico  
Lic. Luis Reyes Valiente

OBSERVACION: Para reportar en base húmeda (tal como se utiliza) realizar el siguiente procedimiento: ----->

Ejemplo:  $100 - 8.68 = 91.32 \times 1.94 / 100 = 1.77\% \text{ N (base húmeda)}$

100-% de humedad= materia seca  
Materia seca multiplicar elemento / 100




Lic. Miriam Alvarez de Amaya  
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola

**Figura A1. Cubetas plásticas utilizadas para el compostaje de residuos vegetales urbanos.**

En esta figura se logra observar la forma de compostaje de los residuos vegetales y el tipo de residuo para la alimentación de las lombrices.



**Figura A2. Conteo de lombrices.**

Se realizó el conteo de lombrices de forma manual seleccionando las que se encontraban en estado adulto.



**Figura A3. Residuos transformados por las lombrices.**

En esta figura se logra observar como las Lombrices van transformando los residuos en abono.



**Figura A4. Acumulación de Lombrices bajo desechos de su preferencia.**

Al explorar las unidades experimentales se lograba observar el comportamiento de las Lombrices, estas se aglomeraban bajo cierto tipo de desechos de su preferencia como en esta figura muestra la acumulación bajo cascara de sandía.



**Figura A5. Toma de temperatura del sustrato previo a la alimentación.**

En esta figura se logra observar como los desechos se han ido degradando y convertidos en lombrriabono.



**Figura A6. Producción de lixiviados.**

Como podemos observar en esta figura la producción de lixiviados es grande, ya que por ser tejidos vegetales estos en su mayoría son agua (80%).



**Figura A7. Medición de pH previo a la alimentación.**

El pH del alimento fue medido a través de papel Fix, el cual es un método apreciativo. En la figura se logra observar el color que indica el pH en el sustrato de 1 semana, 2 semanas y 3 semanas respectivamente.



**Figura A8. Proceso de preparación de muestras para determinación de humedad por el método gravimétrico.**

En esta figura se logra observar la secuencia de pasos para la determinación de humedad por el método gravimétrico; identificación de cajas de aluminio, pesaje de cajas solas, pesaje de cajas más muestra, colocación de cajas mas muestra en estufa y estufa cerrada a  $70 \pm 5$  °C por un tiempo de 24 horas.



### Figura A9. Proceso de pesaje de muestras secas.

En esta imagen se logra observar cómo se extrajeron las muestras secas de la estufa, el reposo de las muestras en el desecador y el pesaje de cajas más muestras secas.



### Anexo cuadro A2. Relacion Benefico Costo.

Se realizó para conocer en agrupación que tan rentable resulta la actividad bajo condiciones experimentales de producción de abono de lombriz.

| AÑO          | Costo     | Costo Actualizado | FAV 15.74% | Ingresos        | Ingreso Actualizado |
|--------------|-----------|-------------------|------------|-----------------|---------------------|
| 0            | -\$383.50 | -\$383.50         | 1          | -----           | -----               |
| 1            | \$133.5   | \$115.344         | 0.8640     | <b>\$196.02</b> | \$169.36            |
| 2            | \$133.5   | \$99.65           | 0.7465     | <b>\$196.02</b> | \$146.33            |
| 3            | \$133.5   | \$86.10           | 0.64498    | <b>\$196.02</b> | \$126.42            |
| 4            | \$133.5   | \$74.39           | 0.55727    | <b>\$196.02</b> | \$109.23            |
| 5            | \$133.5   | \$65.07           | 0.48148    | <b>\$196.02</b> | \$94.37             |
| <b>Total</b> |           | <b>\$440.55</b>   |            |                 | <b>\$645.71</b>     |

$$\text{Relación Beneficio Costo. B/C} = \$645.72 / \$440.55 \\ = \$1.47$$

Interpretación: Según el indicador de evaluación Relación Beneficio/Costo, por cada dólar invertido, se recura el dólar más \$0.47 de ganancia.

**Anexo Cuadro A3. Tabla de ANVA.**

Tabla de ANVA utilizada de acuerdo al diseño estadístico.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados                                              | Cuadrado medio                  | F calculada                    | F de tablas 0.05-0.01              |
|---------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Tratamientos        | (ab-1)             | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y^2 - FC$                           | $\frac{SC_{trat}}{GL_{trat}}$   | $\frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$ | $F_{\frac{gl_{trat}}{gl_{error}}}$ |
| A                   | (a-1)              | $\sum_{i=1}^a \frac{Y^2}{br} - FC$                             | $\frac{SC_A}{GL_A}$             | $\frac{CMA}{CM_{error}}$       | $F_{\frac{gl_A}{gl_{error}}}$      |
| B                   | (b-1)              | $\sum_{j=1}^b \frac{Y^2}{ar} - FC$                             | $\frac{SC_B}{GL_B}$             | $\frac{CMB}{CM_{error}}$       | $F_{\frac{gl_B}{gl_{error}}}$      |
| A*B                 | (a-1)(b-1)         | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y^2}{r} - FC - (SC_A + SC_B)$ | $\frac{SC(A * B)}{GL(A * B)}$   | $\frac{CM(A * B)}{CM_{error}}$ | $F_{\frac{gl(A * B)}{gl_{error}}}$ |
| Error               | ab(r-1)            | $SC_{Trat} - SC_A - SC_B - SC_{(A*B)}$                         | $\frac{SC_{error}}{GL_{error}}$ |                                |                                    |
| Total               | abr-01             | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y^2 - FC$              |                                 |                                |                                    |

