

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**INFORME TÉCNICO**

**TRABAJO DOCUMENTAL**

**EVALUACIÓN DE DOS PROCESOS BIOLÓGICOS  
(COMPOSTEO Y VERMICOMPOSTEO) PARA EL  
TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:  
MADAI GUILLÉN ARCOS**

**DIRECTOR:  
DR. HUGO ALEJANDRO NÁJERA AGUILAR**



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

MAYO 2022

### Agradecimientos

Quiero dar gracias principalmente a Dios, por brindarme de su sabiduría y bendiciones. A mi madre y padre, por todo su amor, paciencia y confianza, a mis hermanas y hermano por siempre estar conmigo en todo momento. Mi pareja en donde encontré un amigo, colega y una familia (Juárez Arce), motivándome; mis docentes por formarme como profesional y compartir de sus conocimientos, especialmente a mi director quién me guió durante la elaboración de este informe.

Gracias de todo corazón.

## Contenido

1. Introducción.....	5
2. Planteamiento de problema.....	5
3. Justificación .....	6
4. Marco Teórico.....	7
4.1. Antecedentes.....	7
4.2. RSU .....	8
4.3. Aprovechamiento .....	9
4.4. Tratamientos.....	9
4.5. Composteo .....	9
4.6. Vermicomposteo .....	13
5. Objetivos .....	16
5.1. Objetivo general.....	16
5.2. Objetivos específicos .....	16
6. Metodología .....	16
6.1. Descripción del sitio de estudio.....	16
6.2. Descripción de metodología.....	17
7. Resultados y Análisis .....	24
7.1. Monitoreo del proceso de composteo.....	24
7.2. Monitoreo del proceso de vermicomposteo.....	26
7.3. Determinar la calidad final de los productos obtenidos con los parámetros Carbono-Nitrógeno. ....	28
7.4. Determinar el rendimiento de los bio abonos obtenidos en los dos procesos evaluados. ....	29
8. Conclusiones.....	31
9. Recomendaciones .....	31
Referencia .....	32
Anexos.....	35

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Mapa de la zona centro de Palenque, Chiapas	16
<b>Figura 2:</b> Vista de frente de la cuna para vermicomposta y composta aerobia	18
<b>Figura 3:</b> Vista al interior de la compostera	18
<b>Figura 4:</b> Tubo de salida para la recolección de lixiviados	19
<b>Figura 5:</b> Residuos orgánicos recolectados	19
<b>Figura 6:</b> Reducción del tamaño de partículas en los residuos orgánicos	20
<b>Figura 7:</b> Montado de la pila de vermicomposta	20
<b>Figura 8:</b> Montado de la pila de composta aerobia	20
<b>Figura 9:</b> Lombrices rojas californianas ( <i>E. Foetida</i> )	21
<b>Figura 10:</b> Bascula utilizada para el peso de las muestras	23
<b>Figura 11:</b> Pesado de la composta en la balanza semi analítica	23
<b>Figura 12:</b> Pesado de la vermicomposta en la balanza se mi analítica	24
<b>Figura 13:</b> Comportamiento de la temperatura durante el proceso de composteo	24
<b>Figura 14:</b> Composta estabilizada	25
<b>Figura 15:</b> Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de composte	26
<b>Figura 16:</b> Incremento y descenso de temperatura en la vermicomposta	27
<b>Figura 17:</b> Vermicomposta estabilizada	27
<b>Figura 18:</b> Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de vermicomposteo	28
<b>Figura 19:</b> Cambio de sensores para el seguimiento de monitoreo (humedad)	35

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Combinación del material a compostear	21
<b>Tabla 2:</b> Equipos utilizados para las mediciones	22
<b>Tabla 3:</b> Volumen de residuos orgánicos del inicio del proceso	29
<b>Tabla 4:</b> Peso de los productos finales de ambos procesos	30
<b>Tabla 5:</b> Rendimiento de los procesos de estabilización	30

## **1. Introducción**

Los residuos sólidos urbanos (RSU) al no tener un manejo y gestión adecuada, trae consigo diversos problemas, especialmente en la disposición final. Es importante distinguir entre estos dos conceptos, mientras que el manejo se refiere a la vida del residuo en un proceso de seis etapas, desde su recolección, traslado, valorización, reciclaje, tratamiento y disposición; el concepto de gestión abarca desde la planeación, financiación y acciones normativas, para que el manejo se realice de una manera correcta y evitar que los residuos sólidos reciclables o revalorizables, como es el caso de la fracción orgánica, lleguen a un sitio de disposición final, y a su vez ocasionen afectaciones al entorno, como son: emisión de malos olores, lixiviados, emisiones de gases de efecto invernadero, degradación de la calidad paisajística, entre los principales [1].

La composición de los RSU en México en el 2012 era de 52,4% de residuos orgánicos (residuos de comida, jardín, etcétera) el 34% de residuos potencialmente aprovechables (13,8% desechos de papel y cartón, 10,9% plásticos, 5,9% vidrio y 3,4% metales); y el 13,6% restante se integraba de otros residuos (12,1%) y textiles (1,4%) [1] lo cual significa un riesgo, directo o indirecto a la salud pública dependiendo del contacto de la población con dichos residuos [2].

Una alternativa para el tratamiento de los residuos orgánicos contenidos en los RSU es el composteo, y se refiere a la degradación de residuos orgánicos por la acción de los microorganismos, alterando la estructura molecular de los compuestos orgánicos [3]. Este tipo de tratamiento es una forma de aprovechar los residuos orgánicos generados dándoles un valor al utilizarlos como abono en procesos agrícolas. La velocidad de degradación biológica de las sustancias orgánicas depende de la estructura química y las condiciones de vida de los microorganismos, las cuales son necesarias para el proceso de descomposición[4].

## **2. Planteamiento de problema**

Las actividades realizadas por el hombre producen un enorme volumen de residuos, desde el consumo de alimentos, producción, comercialización y servicios que realizan día con día. Fue y es preocupación permanente el qué hacer con ellos sin contaminar el medio ambiente [5]. A nivel mundial cerca del 46% del total de RS son residuos sólidos orgánicos [6]. Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición incorrecta y porque cada día aumentan, asociados al incremento de la población humana, los procesos de transformación industrial, agroalimentarios y a los hábitos de consumo de las personas [3]. Para el caso de América Latina, más del 50 % de los RSU generados son

orgánicos y la mayoría de los municipios no cuentan con planes de manejo que permitan minimizar y valorizar los RSU, por lo que son confinados de manera inadecuada en tiraderos a cielo abierto (TCA) [7]. No obstante, mientras se continúe con quemas no controladas y disposición en TCA, seguirán presentándose problemas de contaminación, enfermedades y vectores [6]. Estas traerán como consecuencia en un futuro la degradación del suelo en varias áreas, con muchas pérdidas para el propio hombre. En México es incipiente el aprovechamiento de los RSU, especialmente de su fracción orgánica (FORSU) [7]. La FORSU dispuesta en rellenos sanitarios o TCA se biodegrada y genera principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ambos gases de efecto invernadero [7]. Aunado a lo anterior se tiene la formación de lixiviados, que son potencialmente contaminantes por sus altas cargas orgánicas y contenido de metales pesados [7]. Por consecuencia la presencia de contaminantes en el suelo, que afectan sus propiedades, contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea, finalmente efectos sobre flora y fauna circundante a los sitios de disposición [7]. En el contexto estatal, la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN, 2018) menciona que Chiapas ocupa el décimo lugar a nivel nacional en la generación de residuos sólidos con 5,188 toneladas diarias, de las cuales 3,891 son urbanas; con 99 sitios de disposición final, de los cuales 57 son TCA y 42 rellenos sanitarios, y de estos últimos, 10 están fuera de operación por deficiencias de ingeniería y tres más en total abandono. También menciona que en su composición el 50% lo conforma la fracción orgánica, básicamente los residuos alimenticios y de jardinería. Como puede verse, actualmente, la etapa de disposición final es atendida a través de TCA, sin previa separación de subproductos potencialmente reciclables. Estas prácticas afectan la calidad ambiental en el Estado, ocasionando graves problemas de contaminación a los recursos naturales, así como daños directos e indirectos a la salud de la población y representan una amenaza a las actividades turísticas de la entidad [8]. La problemática ambiental de los RSU es grande porque una mala gestión y manejo conlleva a una inadecuada disposición final.

### **3. Justificación**

Los RSU son dispuestos en su mayoría en TCA en el estado de Chiapas (Nájera 2010), sin previa separación de subproductos que pueden ser reaprovechados. La composición promedio de los residuos generados en la entidad es de 43.32% para la fracción orgánica, 24.69% para la fracción reciclable y 31.99% correspondiente a la fracción sepultable mismos que afectan al ecosistema cuando son dispuestos de forma inapropiada en TCA sin un tratamiento previo. Cabe mencionar que los TCA no son los más adecuados para la disposición de RSU, por lo tanto, un sitio de disposición final (SDF) debe apearse a lo establecido en la *NOM-083-SEMARNAT-2003*, para poder minimizar los impactos ambientales.

En cuanto la presencia de residuos orgánicos en los SDF, estos tienen un efecto negativo en el medio ambiente, dado que, al descomponerse principalmente bajo condiciones anaerobias, favorecen la liberación de gases como el metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub>, además, la liberación de la fracción líquida conocida como lixiviados, puede contaminar corrientes de aguas superficiales y subterráneas. Los olores ofensivos y el esparcimiento de materiales ligeros hacia zonas habitadas que se encuentren cerca del SDF, llega a representar otras afectaciones adicionales. Dentro de las alternativas más usadas y estudiadas alrededor del mundo para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos, se encuentra el composteo, proceso mediante el cual se debe cumplir con procedimientos de control para que al final se logre obtener un abono nutritivo. La importancia del composteo en la actualidad radica en ser un tratamiento económico, beneficioso para el medio ambiente y poder obtener productos para comercializar si cumple con los requisitos adecuados. En este trabajo se evaluaron dos procesos biológicos para el tratamiento de los residuos orgánicos (vermicomposteo y composteo), midiendo diferentes parámetros físicos durante las etapas de degradación. En el proceso de vermicomposteo se utilizaron lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), y para el composteo, el sistema de pila y a cielo abierto.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Antecedentes**

Los agricultores han utilizado el composteo para aprovechar los residuos vegetales desde comienzos del siglo XIX, como desarrollo a nivel industrial para solucionar los problemas de disposición final de origen orgánico [3].

Para el 2008 en la Universidad de Buenos Aires, Argentina, se realizó un estudio de la influencia de la inoculación de microorganismos en donde se midió la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje de materiales orgánicos biodegradables y sin inoculantes de microorganismos. La variación de temperatura en las pilas es uno de los factores más importantes que rige la tasa de las reacciones bioquímicas en el proceso de compostaje [5]. En Colombia durante el año 2012 se realizó una investigación sobre las perspectivas de aplicación en el compostaje, proponiendo estrategias como la separación en la fuente y recolección selectiva, el posicionamiento del aprovechamiento de biorresiduos, aplicada en ciencia e ingeniería del compostaje, la capacitación y establecimientos de alternativas para impulsar el producto. El estímulo al consumo de productos cultivados con materiales orgánicos puede seguirse incrementando y fomentar la aplicación del compost para este propósito[9].

## **4.2. RSU**

La Ley General de la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en su artículo 5 define a los RSU como:

Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

### **4.2.1. Tipos de residuos sólidos**

Los residuos sólidos también pueden clasificarse de otras diversas formas, por ejemplo: de acuerdo a su origen (domiciliar, industrial, comercial, institucional, público); a su composición (materia orgánica, vidrio, metal, papel, textiles, plásticos, inerte y otros); o de acuerdo con su peligrosidad (tóxicos, reactivos, corrosivos, radioactivos, inflamables, infecciosos)[6].

### **4.2.2. Clasificación de Residuos sólidos**

Los RSU podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables (LGPGIR, Artículo 18).

También los RSU pueden ser clasificados según María & Echeverri (2004) en biodegradables o no biodegradables de acuerdo a su grado de descomposición: los primeros se relacionan con los microorganismos descomponedores de la naturaleza, que transforman los sustratos orgánicos en micro nutrientes, como los residuos orgánicos, el papel y el cartón, todos ellos formados por recursos naturales renovables. En tanto que los no biodegradables, se relacionan con recursos naturales no renovables que se formaron hace millones de años como plásticos (derivados del petróleo), latas y chatarras (derivados de metales) y vidrio, y cuyos componentes químicos son inaccesibles para los consorcios microbianos.

#### **4.2.2.1. Inorgánico**

La SEMARNAT (2017) refiere a estos residuos como todo desecho que no es de



origen biológico. La composición de este tipo de residuos podría ser: Papel, cartón y otros productos de papel, textiles, plásticos, vidrio, aluminio, metales ferrosos y otros metales no ferrosos.

#### **4.2.2.2. Orgánicos**

Se relaciona con los restos de materiales resultantes de la elaboración de comidas, así como sus restos vegetales y animales (huesos, verduras, frutas, cáscaras) [11]. Los biorresiduos provienen de residuos de jardín, comida pre y pos consumo de las viviendas y de establecimientos comerciales como restaurantes y expendios de alimentos. Se excluyen residuos de agricultura, actividades forestales, estiércoles animales, biosólidos u otros como textiles, papel y madera procesada.

### **4.3. Aprovechamiento**

Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufacturado, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía (LGPGIR, Artículo 5). Debido a la composición de los residuos generados, es posible inferir que un gran porcentaje de los mismos es apto para el reaprovechamiento, en la formación de composta o a través del reciclaje de productos. Correspondería a un mínimo porcentaje el volumen que no podría reutilizarse.

### **4.4. Tratamientos**

Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad (LGPGIR, Artículo 5). De acuerdo a la literatura, dentro de los diferentes tratamientos que se reporta para tratar la fracción orgánica de los RSU, predominan el composteo, el vermicomposteo, digestión anaerobia y pre composteo. A continuación, en los siguientes apartados, se mencionan los aspectos principales de cada uno de ellos haciendo énfasis en el compostaje.

### **4.5. Composteo**

#### **4.5.1. Definición y microbiología del proceso**

Se define como la degradación biológica de la fracción orgánica de los residuos, efectuada

por diversas poblaciones bajo condiciones controladas hasta un estado lo suficientemente estable que permite su almacenamiento y utilización sin efectos nocivos [12]. Es un proceso bioquímico de descomposición aerobia de los residuos sólidos orgánicos, donde participan microorganismos que transforman la materia orgánica heterogénea en un producto homogéneo y estable [13]. [10] menciona que el compostaje es un tratamiento biológico de degradación aerobia frecuentemente utilizado, cuando la conversión de la materia orgánica fresca a substratos, (azúcares, aminoácidos, lípidos, celulosa) con un alto grado de descomposición, bajo condiciones controladas, es realizada en un período de tiempo relativamente corto (habitualmente pocos meses). Con la utilización de microorganismos para su aceleramiento de descomposición o pre composteos, la cual ayudaría que la composta llegue a un punto de madurez en poco tiempo de que suele pasar normalmente. La utilización de composta como mejorador de suelos es una opción tanto económica como favorable para el ambiente. [12] afirman que, la composta también puede aplicarse como medio para oxidar el metano que se produce en algunos sitios de disposición de residuos municipales, entre los que se encuentran los TCA y los rellenos sanitarios. De esta manera producir composta con los residuos orgánicos producidos por la actividad humana es una manera de aprovechar este recurso y evitar que lleguen al SDF provocando daños al medio ambiente. El uso de la composta tiene muchas ventajas, por ejemplo, [14] mencionan que la incorporación de compost, en lugar de una simple aplicación de la superficie, tiene potencial para alterar las propiedades del suelo en el subsuelo, pero también requiere perturbaciones adicionales del suelo. De esta manera la aplicación de composta es beneficiosa para los cultivos al aportar nutrientes y buena porosidad para la filtración del agua.

#### 4.5.2. Tipo de proceso

**Aerobio:** Es un proceso natural donde los microorganismos convierten el material orgánico en un producto estable llamado composta, es un proceso noble que puede llevarse a cabo desde la formación de una simple pila con costos mínimos de construcción y operación hasta grandes instalaciones con equipo sofisticado y altos costos de operación y mantenimiento, dependiendo de lo atractivo del mercado de compostas y de las exigencias de las autoridades correspondientes para el manejo de materiales de desecho [15].

- **Etapas del compostaje**

De acuerdo con Lozano et al (2008), el proceso de composteo puede ser dividido en tres etapas diferenciadas según la temperatura del material: etapa mesófila inicial con duración aproximada de 2 a 3 días, donde la temperatura sigue un comportamiento ascendente que inicia con la temperatura ambiente hasta alcanzar los 40 °C; etapa termófila con duración variable, en ella la temperatura se incrementa por encima de los 40 °C, pudiendo alcanzar los 75 °C; y finalmente, la etapa mesófila o de maduración con duración variable, donde la temperatura desciende de los 40°C hasta alcanzar la temperatura ambiente. Es en esta última etapa donde se alcanzará la estabilidad biológica del material y se da por concluido el proceso. En el monitoreo del proceso de degradación, será importante evaluar los parámetros de control para obtener una composta de buena calidad con los nutrientes necesarios para la planta. En el siguiente apartado se mencionan brevemente los principales parámetros de control.

#### 4.5.3. Variables principales que controlan el proceso

##### 4.5.3.1. Físico

- **Temperatura:** Que es el que mejor indica el desarrollo del proceso. Durante la descomposición aeróbica, se observan tres fases: fase mesófila inicial, al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila; y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se llega a la temperatura inicial y se estabilizan a temperatura ambiente.
- **Humedad:** El agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa para que permita la circulación tanto del oxígeno como la de otros gases, el rango para la humedad tiene que ser de 60% a 80%.
- **pH:** Tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. En muchos trabajos se usa esta variable para estudiar la evolución del compostaje; mediante éste, se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH [10].

#### 4.5.3.2. Químico

Contenido de carbono: % C, contenido total de nitrógeno: % Nt, el nitrógeno se expresará en forma orgánica y mineral: N org N- NH<sub>4</sub> y N- NO<sub>3</sub>, contenido de Potasio: % K<sub>2</sub>O, contenido de Fósforo: % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, contenido de Calcio: % CaO, contenido de Magnesio: % MgO, contenido de elementos menores: % [3].

#### 4.5.3.3. Parámetro Microbiológico

La velocidad de degradación biológica de las sustancias orgánicas depende de la estructura química y las condiciones de vida de los microorganismos las cuales son necesarias para el proceso de descomposición [4]. Los microorganismos responsables del proceso de compostaje utilizan como nutrientes esenciales carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos elementos traza [5].

- **Crecimiento Microbiano**

Se conocen cuatro fases: latencia, de crecimiento o exponencial, estacionaria y de muerte [7]; la temperatura es un indicador de la actividad microbiana, a medida que se eleva la temperatura, las poblaciones microbianas son reemplazadas por otras mejor adaptadas [7]. En la composta el crecimiento de los microorganismos es importante para que estas degraden la materia y subir la temperatura

- **Importancia de los microorganismos en el proceso de compostaje**

Los microorganismos descomponedores de la materia orgánica (bacterias, actinomicetos, hongos) se pueden clasificar de acuerdo a la manera de alimentarse (autótrofos, como fotosintetizadores o quimiosintetizadores y heterótrofos), a la temperatura óptima de crecimiento[3]. Por estas características la producción de un inóculo acelerador de compost a partir de bacterias es una herramienta útil en la disminución del tiempo de degradación y en el aumento de la velocidad de degradación de materia orgánica, lo que proporciona disminución de residuos sólidos y mayor rapidez en la producción de abono orgánico para cultivos[11]. En los tres tipos de composta encontraremos microorganismos para ayudar a la aceleración de la descomposición de la materia orgánica.

#### 4.5.4. Ventajas y Desventajas del composteo

- **Ventajas**

El compostaje es una gran opción para abonar los cultivos, es natural y por esto es recomendable para todo tipo de cultivo. El compost es un fertilizador natural que no produce sobrecarga química al suelo y se trabaja con materiales orgánicos y estos se obtienen de los desechos de los seres vivos [11].

- **Desventaja**

La humedad es esencial para la actividad microbiana, ya que puede afectar la tasa de descomposición. Si la humedad es menor a 40 %, la actividad microbiana se ve reducida; si es mayor a 60 %, el agua llena los espacios porosos requeridos para el movimiento del aire, por lo que se producen condiciones de anaerobiosis [16].

#### 4.6. Vermicomposteo

##### 4.6.1. Definición y micro y macroorganismos responsables

Es un proceso ecotecnológico de bajo costo que permite la biooxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, del cual se obtiene la vermicomposta, un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina [17]. Una alternativa con creciente auge ha sido el uso de residuos orgánicos, con participación en el bioproceso de lombrices, para obtener productos con valor agronómico alto y mejorías en la calidad nutrimental del suelo [18]. Para el vermicompostaje o lombricultura también conocido se requiere de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) quién será encargada de consumir la materia orgánica y producir el abono.

##### 4.6.2. Etapas del proceso

- **Preparación del sitio**

Elegir un lugar protegido de las lluvias y del sol extremo, ventilado pero resguardado del viento (evitar excesiva evaporación, luz, calor, inundación y propagación de olores). Son ideales los lugares oscuros, ventilados y protegidos [19].

- **Preparación del sustrato de la siembra**

Es la acción de pasar por un proceso previo de degradación los residuos, antes de suministrárselos a las lombrices, ya que muchos residuos tienen altos contenidos de

ácidos orgánicos y otras sustancias que pueden llegar a ser perjudiciales, se recomienda realizar esta práctica para homogenizar la mezcla y alcanzar los valores de pH adecuados [20].

- **Alimentación**

La lombriz roja californiana requiere de altas concentraciones de materia orgánica para alimentarse, pueden consumir prácticamente todos los tipos de materia orgánica, pudiendo ser ésta de origen orgánico vegetal, animal o mixto, fresco o en diferentes estados de descomposición. La lombriz puede llegar a ingerir diariamente su propio peso en alimento, es decir, 1 kilogramo de lombrices puede consumir 1 kilogramo de residuos cada día [20].

- **Cosecha**

La cosecha del humus de lombriz consiste en la separación del humus o vermicompost, por un lado, y de las lombrices por otro. El abono está pronto para ser cosechado cuando tiene color oscuro y uniforme, está muy suelto y esponjoso, tiene un olor agradable similar al mantillo de monte y no se reconocen los materiales que se colocaron. Visualmente se verifica que no queden restos visibles de materia orgánica [19]. Para la cría de lombrices se debe cumplir con humedad, pH y temperatura.

#### 4.6.3. Variables que controlan el proceso

##### 4.6.3.1. Físico

- **Temperatura:** Para favorecer el desarrollo óptimo de las lombrices en el sustrato, la temperatura debe mantenerse entre 20 y 25°C, no exceder con la temperatura ambiente con la que se puede llegar a deshidratar la lombriz y causar mortalidad [21].
- **Humedad:** Las condiciones más favorables para que la lombriz produzca y se reproduzca se presentan en la humedad del 80% es aceptable hasta 70% debajo de 70% de humedad es una condición desfavorable por otro lado niveles de humedad de 5% son mortales para las lombrices [22].
- **pH:** Óptimo es 7 (neutro: ni ácido, ni básico), aunque tolera un rango bastante amplio ( $5 < \text{pH} < 9$ ). El valor del pH depende de la materia orgánica que se

emplea y del tiempo de pre- compostado. Materiales más ácidos requerirán más tiempo de precom- postado para neutralizar su pH [19].

#### **4.6.3.2. Micro y macro organismos**

Las lombrices de tierra convierten y estabilizan los residuos orgánicos en un material parecido al humus, rico en nutrientes, llamado humus de lombriz, en ella las lombrices ejercen una acción tanto física como bioquímica[17]. La acción física incluye aireación, mezcla y molienda de los residuos orgánicos, en tanto que los microbios son responsables de la degradación y estabilización bioquímica.

La descomposición de los residuos orgánicos por lombrices se ve favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes de su intestino, estos producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y compuestos fenólicos, aumentando la mineralización del carbono y nitrógeno del material ingerido[17]).

#### **4.6.4. Ventajas y desventajas del proceso**

- **Ventajas**

La lombriz tiene la capacidad de asimilar elevadas concentraciones de algunos compuestos protóxidos y metales (Cu, Fe, Cd, Pb, Zn), sin observarse síntomas aparentes de intoxicación a corto plazo [23]. Del vermicompost se puede obtener sustancias hidrosolubles, ácidos solubles y húmicas. Los hidrosolubles son compuestos constituidos por moléculas orgánicas de bajo peso molecular (aminoácidos, azúcares, purinas, etc.) y minerales como potasio, fósforo, magnesio y cobre, que lo hace recomendable como fertilizante foliar en el periodo de prefloración [24]. El uso de la lombriz roja californiana obtiene un valor en el mercado para su comercialización desde la misma lombriz hasta el humus que genera.

- **Desventajas**

En todos los casos se deben tomar las previsiones necesarias para evitar olores y acelerar el proceso (remoción y oxigenación) mediante la ventilación y aireación de la mezcla. Para esto se puede cubrir el material con tierra, cartón o mulch, y oxigenar mediante volteo (en caso necesario). Y evitar el acceso de animales domésticos y plagas (cucarachas, moscas, roedores, etcétera) [19]

## 5. Objetivos

### 5.1. Objetivo general

- Evaluar dos procesos biológicos (composteo y vermicomposteo) para el tratamiento de residuos orgánicos.

### 5.2. Objetivos específicos

- Construir la pila de composteo y la cuna para el vermicomposteo.
- Monitorear los procesos de estabilización biológica (composteo y vermicomposteo) con los parámetros de temperatura y humedad.
- Determinar la calidad final de los productos obtenidos con los parámetros Carbono-Nitrógeno.
- Determinar el rendimiento de los bio abonos obtenidos en los dos procesos evaluados.

## 6. Metodología

### 6.1. Descripción del sitio de estudio

#### 6.1.1. Ubicación

Palenque se ubica al norte del estado de Chiapas, con las coordenadas  $17^{\circ}30'39.59''$  N y  $91^{\circ}59'34.33''$  O (Figura 1). Limita al norte con Tabasco y los municipios de Catazajá y La Libertad; al este con La Libertad, el estado de Tabasco y la República de Guatemala; al sur con Ocosingo, Chilón y Salto de agua; y al oeste con Salto de Agua y el estado de Tabasco.

**Figura 1:** Mapa de la zona centro de Palenque, Chiapas.



Fuente: Imagen adaptada de Google Earth.



### **6.1.2. Clima**

En la mayor parte de la región predomina el clima cálido húmedo con precipitaciones todo el año, La temperatura media anual en la mayor parte del territorio de la región está en el rango de los 24°C a 26°C. Específicamente durante los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va desde los 18°C y hasta más de 22.5°C, predominando los 21°C a 22.5°C en el 49.11% de la región y superiores a 22.5°C. En este mismo periodo, la temperatura máxima promedio oscila de los 27°C y hasta más de 34.5°C, predominando los 33°C a 34.5°C.

### **6.1.3. Hidrología**

Posee con las cuencas Río Usumacinta, Río Chixoy, Río Grijalva Villahermosa y Río Lacantún. La subcuenca Río Chacamax es recorrida por los ríos Chacamax, Chuyipaito, Cancanja, Ashipa y Chuyipa, subcuenca Río Chacaljáh alimentada por el río Chancalá, Chocolja y Santo Domingo.

### **6.1.4. Flora y Fauna**

La diversidad de la flora abarca recursos madereros tales como: ceiba, cedro, caoba y chicozapote. Entre las especies propias del municipio se encuentran: guarumbo, hule, jimba, capulín, calaguaste, canishte, coralillo, castarica, pasaque y guayacán.

La fauna también es diversa y alberga animales tales como: Jabalí, armadillo, mapache, tortuga plana, tortuga cocodrilo, puercoespín, coatín (tejón), tlacuache (zarigüeya) y venado cabrito.

## **6.2. Desarrollo experimental**

### **6.2.1. Construcción de los composteros y recolección de la materia prima.**

Se realizó la preparación del sitio donde se llevó a cabo los procesos de vermicomposteo y composteo, la metodología fue tomada de un manual y varios artículos, cubriendo las necesidades del objetivo y adaptándola al sitio [19], [25].

El diseño del compostero es de 2m de largo, 0.80m de ancho, una altura promedio de 0.7 m y con una pendiente del 2% hacia el fondo de la cuna, lo que permite la conducción y recolección del lixiviado generado (Figura 2). En el punto de salida de la tubería de recolección, se adaptó malla sombra para evitar el paso de sólidos (Figura 3 y 4).

**Figura 2:** Vista de frente de la cuna para vermicomposta y composta aerobia



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3:** Vista al interior de la compostera



Fuente: Se observa la malla sombra para drenar el líquido que se genera y las pendientes. Elaboración Propia

**Figura 4:** Tubo de salida para la recolección de lixiviados



Fuente: Elaboración propia.

La materia orgánica fue recolectada en el mercado municipal de Palenque, Chiapas (Figura 5) y cuantificada, para determinar el peso a ingresar a compostaje, excluyendo los cítricos para este proceso. Se trituró la materia orgánica a 3cm aproximadamente (Figura 6). Para la elaboración de la composta y vermicomposta se realizó una mezcla como se muestra en la tabla 1.

**Figura 5:** Residuos orgánicos recolectados en el mercado municipal de Palenque, Chiapas.



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6:** Reducción del tamaño de partícula en los residuos orgánicos (3 a 5 cm)



Fuente: Elaboración propia.

Se montaron las pilas para el vermicomposteo (Figura 7) y composteo (Figura 8), agregando abono maduro para poder inocular microorganismos y ayudar al proceso de descomposición. Para el vermicomposteo aún no se introdujeron las lombrices rojas californianas, dado que previo a ello se realizó el pre-composteo por 7 días.

**Figura 7:** Montado de la pila de vermicomposta    **Figura 8:** Montado de la pila de la composta aerobia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 1:** Combinaciones del material a compostar

Combinaciones de la cuna y pila			
Vermicomposteo		Compostaje	
V1	M.S+R.O	C1	M.S+R.O

\*M.S= Materia Seca (Hojarascas)

\*R.O= Residuos Orgánicos

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.2. Monitoreo de los procesos de estabilización biológica

Al principio del proceso de composteo, se hicieron volteos manuales cada 2 a 3 días, para favorecer la oxigenación. Algo similar se realizó en el vermicomposteo para la primera semana.

Pasando los 7 días de pre-composteo, en la vermicompostera se introdujeron aproximadamente 1 Kg de lombrices rojas californianas, lo que correspondió a una densidad de 0.90 kg/ m<sup>3</sup> de cuna.

Determinación de densidad:

$$\rho = m/v$$

$$\rho = 1 \text{ kg}/1.12 \text{ m}^3$$

$$\rho = 0.90 \text{ kg}/\text{m}^3$$

**Figura 9:** Lombrices Rojas Californianas (*E. Foetida*).



Fuente: Elaboración propia.

Se usaron sensores programados con Arduino para automatizar las mediciones de temperatura y humedad, durante todo el proceso de estabilización. Estos fueron sustituidos a los 20 días de su colocación, por nuevos sensores para seguir con el monitoreo de los parámetros físicos.

**Tabla 2:** Equipos utilizados para las mediciones

<b>Sensores con Arduino</b>	
<b>Nombre</b>	Modelo
<b>Humedad</b>	YL69
<b>Temperatura</b>	LM35
<b>Reloj Arduino</b>	DS3231
<b>Modulo lector de tarjeta SD</b>	Micro SD

Fuente: Elaboración propia.

Durante el proceso se humedeció las compostas cada 4 días para mantener la humedad en el rango recomendado por la literatura, para el caso del proceso de composteo entre el 50-70%, y alrededor del 80% para el proceso de vermicomposteo [10]. Se tomo en cuenta el método del puño, en la que se toma un puño de material y se aprieta, se observa que se mantenga la forma y salgan entre 10 a 8 gotas de agua.

### **6.2.3. Determinación de la calidad final de los productos (composta y vermicomposta).**

Se recolectaron dos muestras de ambos productos (composta y vermicomposta). Primeramente, se tomaron en cuenta cuatros puntos diferentes de la compostera en toda su área, se recogió sustrato de esos cuatro puntos y se colocaron en bolsas de plástico, en donde se rotularon cada bolsa seguidamente se colocaron en cajas de cartón, para llevar al Colegio de la Frontera Sur Unidad San Cristóbal, para la determinación de Carbono y Nitrógeno, para lo cual se utilizó el Analizador Elemental Thermo Scientific Flash 2000 C-N Soils Analyzer.

### **6.2.4. Determinación de rendimiento del producto obtenido para ambos procesos**

Los residuos orgánicos recolectados y triturados fueron pesados en cubetas de 20 litros, con el apoyo de una báscula romana de resorte de 50 kg, PRETUL (Figura 10).

**Figura 10:** Báscula utilizada para el peso de las muestras, excluyendo los cítricos.



Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el proceso de estabilización se realizaron nuevamente el pesado de ambas compostas con una balanza semi-analítica (Figura 11 y 12).

**Figura 11:** Pesado de la composta en balanza semi-analítica.



Fuente: Elaboración propia.



Figura 12: Pesado de la vermicomposta en balanza semi-analítica



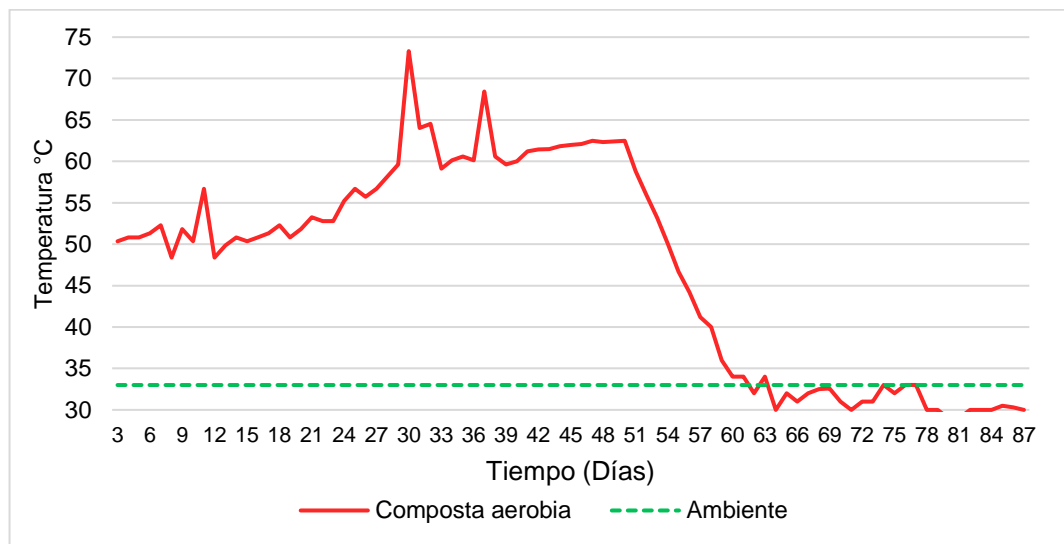
Fuente: Elaboración propia.

## 7. Resultados y Análisis

### 7.1. Monitoreo del proceso de composteo.

#### 7.1.1. Temperatura

Figura 13: Comportamiento de la temperatura durante el proceso de composteo.



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos a través de los sensores de Arduino durante los 87 días de monitoreo (Figura 13), muestran el incremento de temperatura en diferentes tiempos; se observa que



hasta el día 10 presentaron temperaturas en el rango de 40 a 50 °C, cumpliéndose de esta manera la etapa mesofílica [26].

Transcurrido el tiempo, la composta incrementó su temperatura hasta arriba de los 70 °C, incremento que se mantuvo hasta el día 51; como las fuentes indican a este punto se le llama etapa termófila; es en esta fase donde la temperatura es superior a 40° y sube hasta 60°-65°C. Microorganismos, llamados termófilos, transforman el Nitrógeno (N), en Amoníaco (NH<sub>3</sub>), por lo cual el pH se hace alcalino. A los 60-65°C. La tercera etapa en el proceso de composteo comenzó con el descenso hasta llegar a la temperatura ambiente hacia el día 62. Esta se le denomina de enfriamiento, y autores como Sauri et. al., (2002), mencionan que en esta etapa desciende la actividad microbiana como consecuencia de la falta de sustrato de fácil asimilación.

En términos generales, puede decirse que los residuos orgánicos alcanzaron su estabilización alrededor del día 62, momento en el que el producto final puede ser considerado como bioabono (composta), estando libre de olores y pudiéndose almacenar sin problema alguno para alcanzar una mayor madurez en el producto.

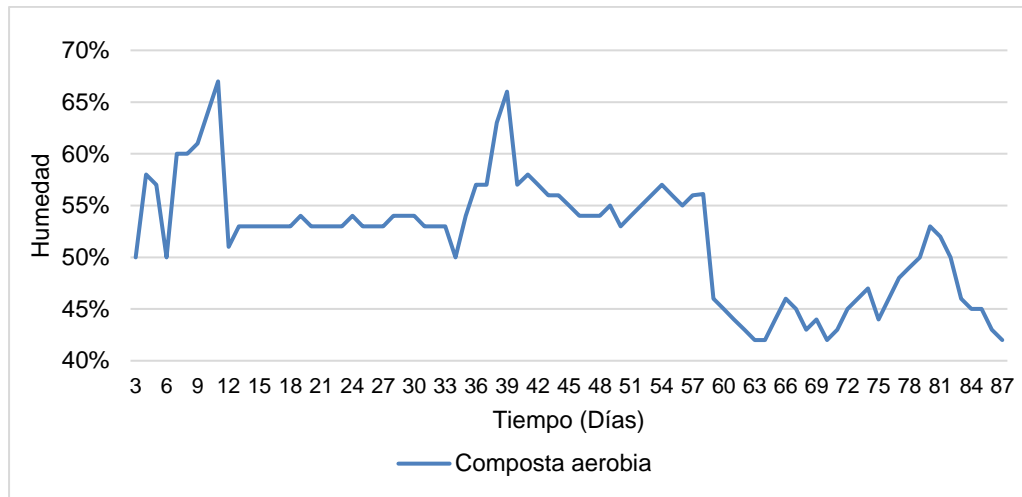
**Figura 14:** Composta estabilizada



Fuente: Elaboración propia

## 7.2.2. Humedad

**Figura 15:** Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de composteo.



Fuente: Elaboración propia.

La humedad es esencial para la actividad microbiana, ya que puede afectar la tasa de descomposición. Si la humedad es menor a 40 %, la actividad microbiana se ve reducida; si es mayor a 60 %, el agua llena los espacios porosos requeridos para el movimiento del aire, por lo que se producen condiciones de anaerobiosis[16]. De acuerdo a lo observado en la Figura 14, se tiene que durante casi todo el periodo de monitoreo (87 días), en contenido de humedad se mantuvo en el rango de 45 a 65%, valores adecuados para el proceso de composteo tal como lo mencionan [28], y solamente durante un lapso corto de tiempo y hacia el final del proceso (días 63 a 70), los registros de humedad estuvieron en un rango ligeramente bajo (40-45 %). En términos generales, el contenido de humedad se mantuvo en valores aceptados para el buen desarrollo del proceso.

## 7.2. Monitoreo del proceso de vermicomposteo.

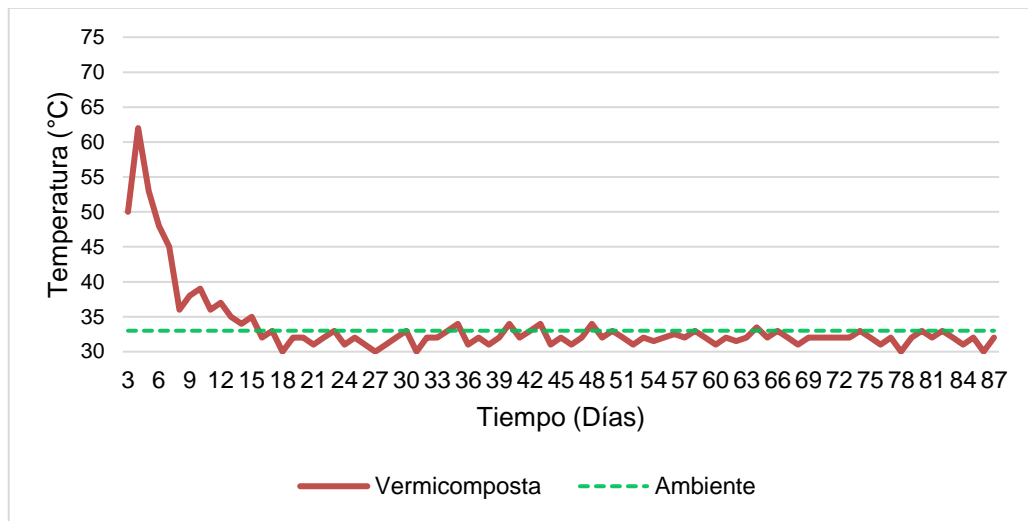
### 7.2.1. Temperatura

Durante los primeros 7 días se realizó el pre composteo y hacia el día 4 se observa un pico de hasta 60 °C en la temperatura, para luego descender en el día 7-8 por debajo de los 40 °C. Estos resultados demuestran la importancia de pre-compostear el sustrato antes de la colocación de las lombrices [21]. Para el día 8 las lombrices fueron sembradas considerando que la temperatura era similar o cercana a la temperatura ambiente, y estos registros se

observan que en general se mantuvieron para el resto del proceso de vermicomposteo, lo cual fue benéfico. Las temperaturas ligeramente arriba de los 30 °C obtenidas a lo largo del proceso y cercanas a la del ambiente, pueden explicarse dado que el sitio de estudio cuenta con un clima de cálido húmedo y durante el tiempo que se realizó el estudio fue temporada de primavera-verano.

En general, el comportamiento de este parámetro en el proceso de vermicomposteo estuvo dentro de valores adecuados para el desarrollo y mantenimiento de las lombrices.

**Figura 16:** Incremento y descenso de temperatura en la vermicomposta.



Fuente: Elaboración propia.

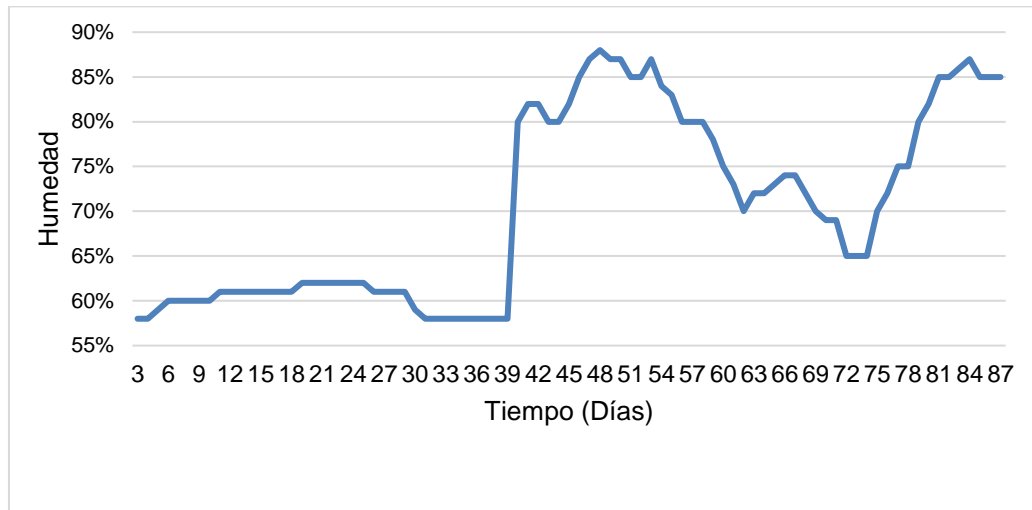
**Figura 17:** Vermicomposta estabilizada.



Fuente: Elaboración propia.

## 7.2.2. Humedad

**Figura 18:** Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de vermicomposteo.



Fuente: Elaboración propia.

De la figura 18 se observa que durante los primeros 39 días del proceso de vermicomposteo, el contenido de humedad se mantuvo alrededor del 60%, valor relativamente bajo si se considera que el contenido de humedad debe encontrarse alrededor del 80% [17], sin embargo, a partir del día 40 el contenido de humedad se eleva hasta alcanzar un 80%, y hasta el día 60 se mantiene entre 80-85%. Para el resto del proceso la fluctuación fue mayor y se mantuvo entre el 65 y 85%. A pesar de estas variaciones, el proceso pudo desarrollarse hasta la obtención del producto final (vermocomposta) y sin la generación de malos olores.

## 7.3. Determinar la calidad final de los productos obtenidos con los parámetros Carbono-Nitrógeno.

### 7.3.1. Composta aerobia

NMX-AA-180-SCFI-2018 establece los rangos de los parámetros con los que debe cumplir la composta madura, en la cual se menciona que para el Carbono orgánico total debe contener un valor mínimo a 10% y para el Nitrógeno total 1-3%, y con una relación C/N es de 15-25

Los resultados de laboratorio para la muestra de composta arrojaron un contenido final de

Carbono total de 11.15 % y de Nitrógeno total de 0.6152 %, por lo tanto, con una relación C/N de 18.12, estableciéndose dentro del rango que fija dicha NMX.

### 7.3.2. Vermicomposta

En la vermicomposta fijados en la NMX-FF-109-SCI-2007, que estable el rango de Nitrógeno total de 1% a 4% y la relación C/N de  $\leq 20$ , los resultados obtenidos en el laboratorio fueron para el Carbono total de 76.78% y de Nitrógeno total un 3.68%, y en cuanto su relación C/N con 20.86, valor ligeramente arriba de rango establecido.

### 7.4. Determinar el rendimiento de los bio abonos obtenidos en los dos procesos evaluados.

Ambos procesos iniciaron con las cantidades en volumen que se muestran en la Tabla (3).

**Tabla 3:** Volumen de los residuos orgánicos al inicio del proceso

Volumen de residuos		
No. De repeticiones	Composta kg	Vermicomposta kg
1	0.05	0.025
2	0.03	0.031
3	0.04	0.033
4	0.015	0.020
5	0.03	0.036
6	0.031	0.030
7	0.033	0.036
8	0.036	0.033
Promedio	0.033	0.031
Desviación Estándar	0.010	0.006

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el periodo de monitoreo de ambos procesos, los productos finales (composta y vermicomposta) de nueva cuenta fueron pesados y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.



## 8. Conclusiones

- Es importante pre-compostear la materia prima antes de ser colocados a la compostera para facilitar el consumo de la materia orgánica por la lombriz roja californiana.
- El rendimiento oscila en el 40% con los tratamientos de vermicomposta y composta, utilizando desechos orgánicos.
- Los residuos orgánicos pueden ser tratados y de esta manera evitar ser enviados a los SDF y ser utilizados como abono orgánico en algún otro sitio (jardines, áreas verdes o cultivos).

## 9. Recomendaciones

- Un lugar para poder drenar y no almacenar el lixiviado generado durante el inicio del proceso, ya que pueden generar malos olores y atracción de vectores como mosca blanca y gusanos.
- Pre-compostear por 7 días la materia orgánica antes de dársela directamente a la lombriz.
- Tapar la composta con una lona o malla sombra, de esta manera la luz y calor del sol no afecte a la lombriz, también colocar láminas con una altura considerable si el lugar no se encuentra con buena sombra para que los rayos del sol no lleguen directo y este no produzca mortalidad en la lombriz.

## Referencias consultadas

- [1] N. M. Jiménez Martínez, “La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad,” *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, vol. 17, pp. 29–56, 2015, doi: 10.17141/letrasverdes.17.2015.1419.
- [2] M. A. Direcci and B. Urbanos, “Programa de protección civil para,” pp. 1–47, 2017, [Online]. Available: [http://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/programa de Prevencion/programas nuevo directorio/PPC BASUREROS 2017.pdf](http://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/programa%20de%20Prevencion/programas%20nuevo%20directorio/PPC%20BASUREROS%202017.pdf)
- [3] S. M. Puerta, “Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos,” *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 1, no. 1, pp. 56–65, 2004.
- [4] E. K. Schauz, U. E. GmbH, D. Cristina, C. Jaramillo, and U. GmbH, “Optimización de los procesos de descomposición en residuos sólidos orgánicos,” *ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, vol. 1, pp. 54–61, 2012.
- [5] M. F. Tortarolo, M. Pereda, M. Palma, and N. M. Arrigo, “Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje,” *Ciencia del Suelo*, vol. 26, no. 1, pp. 41–50, 2008.
- [6] Á. Chávez Porras and A. Rodríguez González, “Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica,” *Academia y Virtualidad*, vol. 9, no. 2, pp. 90–107, 2016, doi: 10.18359/ravi.2004.
- [7] M. Ballesteros Trujillo, M. del C. Hernández Berrie, I. de la Rosa Cómez, M. del C. Mañón Salas, and M. del C. Carreño de León, “Crecimiento Microbiano En Pilas De Compostaje De Residuos Orgánicos Ybiosólidos Después De La Aireación.,” *Microbial Growth in Compost Piles of Organic Waste and Biosolids After the Aeration Process.*, vol. 45, no. 1, pp. 1–10, 2018, [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=130798356&lang=es&site=ehost-live>
- [8] SAGARPA, “Mapa de proyectos / Manejo de residuos,” p. 145, 2015, [Online]. Available: [http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/Productividad\\_y\\_competitividad\\_agroalimentaria/Programa\\_regional\\_de\\_desarrollo\\_previsto\\_en\\_el\\_PND/36\\_incentivos/211PP064 NUEVA AMERICA S.P.R. DE R.L/5. PROYECTO/Manejo de residuos Detallado.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/Productividad_y_competitividad_agroalimentaria/Programa_regional_de_desarrollo_previsto_en_el_PND/36_incentivos/211PP064_NUEVA_AMERICA_S.P.R._DE_R.L/5_PROYECTO/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf)
- [9] R. Oviedo, L. Marmolejo, and P. Torres, “PERSPECTIVAS DE APLICACIÓN DEL COMPOSTAJE DE BIORRESIDUOS PROVENIENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. UN ENFOQUE DESDE LO GLOBAL A LO LOCAL,” *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, vol. 11, pp. 67–76, 2012, [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=88010163&lang=es&site=ehost-live>



- [10] W. Lopez Wong, "Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol," 2010.
- [11] E. Sugawara and H. Nikaido, "implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos," 2014. doi: 10.1128/AAC.03728-14.
- [12] M. Sauri, "Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes," *Ingeniería*, vol. 6, no. 3, pp. 55–60, 2002.
- [13] R. L. Ramírez, M. A. O. Salazar, J. T. Sandoval, J. L. G. R. Sandoval, and G. M. Méndez, "Design, construction and tests of an automatic prototype for composting | Diseño, construcción y prueba de un prototipo automático para compostaje," *Revista Facultad de Ingeniería*, no. 70, pp. 185–196, 2014.
- [14] C. N. Kranz, R. A. McLaughlin, A. Johnson, G. Miller, and J. L. Heitman, "The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review," *Journal of Environmental Management*, vol. 261, p. 110209, May 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110209.
- [15] G. Íñiguez *et al.*, "COMPOSTAJE DE MATERIAL DE DESCARNE Y AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIDURÍA INTRODUCCIÓN La mayor parte de las curtidorías en México se encuentran localizadas en la Zona Metropolitana de la ciudad de México y en los estados de Nuevo León , Jalisco," vol. 22, no. 3, pp. 113–123, 2006.
- [16] B. Y. K. Kaufmann, "UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA TEQUILERA. PARTE 7. COPOSTAJE DE BAGAZO DE AGAVE Y VINAZAS TEQUILERAS," vol. 21, no. March, pp. 25–27, 2005.
- [17] V. M. Villegas-Cornelio, J. R. Laines Canepa, V. M. Villegas-Cornelio, and J. R. Laines Canepa, "Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos," *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, no. 2, p. 393, Aug. 2017, doi: 10.29312/remexca.v8i2.59.
- [18] G. A. Zanor, M. E. López Pérez, R. Martínez Yáñez, L. F. Ramírez Santoyo, S. Gutiérrez Vargas, and M. F. León Galván, "Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor," *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 19, no. 4, pp. 1–10, 2018, doi: 10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.036.
- [19] Carlos. Mikolic *et al.*, "Manual De Vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos," *Montevideo Ambiente*, vol. 1, pp. 1–208, 2018, [Online]. Available: <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>
- [20] N. Martinez and P. Gonzales, "Guia Tecnica Para el Aprovechamiento de Residuos Organicos," *Grupo de Investigación Sistemas Integrados de Producción Agrícola y Forestal (SIPAF)*, p. 159, 2014, [Online]. Available: [http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf)

- [21] C. M. Acosta Durán, O. Solís Pérez, O. G. Villegas Torres, and L. Cardoso Vigueros, "Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*," *Agronomía Costarricense*, vol. 37, no. 1, pp. 127–139, 2012, doi: 10.15517/rac.v37i1.10718.
- [22] G. López, Francisco; Marcos, Espinosa; Victor, "Diseño e implementación del sistema de control automático en el prototipo de un sistema de lombricompostaje vertical hexagonal.," 2014.
- [23] I. C. Zapata, J. F. Saldarriaga, E. Posada, and L. Martinez, "EFFECTS OF EARTHWORMS (*Eisenia foetida*) ON THE MICROORGANIS GROWTH IN POLLUTION SOILS WITH MERCURY OF SEGOVIA, ANTIOQUIA," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, no. 1, pp. 77–90, 2017, doi: 10.18359/rcin.1911.
- [24] L. Lozano Urbina, F. Zabala Joya, and I. Rojas Camargo, "Proceso de descomposición de los residuos vegetales de la universidad industrial de santander mediante compostaje," *Revista UIS Ingenierías*, vol. 7, no. 2, pp. 227–236, 2008.
- [25] FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *Manual de compostaje del agricultor*. 2015.
- [26] F. GORDILLO, E. PERALTA, E. CHÁVEZ, V. CONTRERAS, A. CAMPUZANO, and O. RUIZ, "Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar)," *RIA: Revista Investigaciones Agropecuarias*, vol. 37, no. 2, pp. 140–149, 2011.
- [27] M. Rosa, S. Riancho, H. Alejandro, N. Aguilar, J. G. Ramírez, and G. M. Mejía, "Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación," *Ingeniería*, vol. 6, no. 1, pp. 13–20, 2002.
- [28] L. M. Sena, J. F. de Arruda, F. R. D. S. Costa, F. B. B. de Almeida, P. O. B. de Brito, and F. A. Gondim, "Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos," *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 14, no. 2, pp. 266–272, 2019, doi: 10.18378/rvads.v14i2.6136.

**Anexos**

**Figura 19:** Cambios de sensores para el seguimiento de monitoreo (humedad).



Fuente: Se realizaron cambios de cables y sensores para poder seguir con la programación Arduino. Elaboración propia.