



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

---

## BIOTRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES EN FERTILIZANTES, EN UN SISTEMA DE VERMICOMPOSTAJE

**TESIS**

P R E S E N T A  
**ANA KAREN HERNÁNDEZ JUAN**

***DIRECTOR***  
M.C YOVANI LÓPEZ GONZÁLEZ

***CODIRECTORA***  
ING. HEIDI ANABEL JACOME SÁNCHEZ

MISANTLA, VERACRUZ

JUNIO, 2022



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

FECHA: 25 de Mayo de 2022.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS PROFESIONAL.**

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

**ANA KAREN HERNÁNDEZ JUAN**

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 162T0444 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción **Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema titulado:**

**“BIOTRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS  
BIODEGRADABLES EN FERTILIZANTES, EN UN SISTEMA DE  
VERMICOMPOSTAJE”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

  
MIL. GRACIELA GUADALUPE AGUILERA ALVAREZ  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

## RESUMEN

El gran exceso de los diversos tipos de residuos orgánicos existentes en todo el mundo, nos muestra la necesidad de plantear y llevar a cabo estrategias para la reducción y gestión de estos residuos. Los problemas ambientales que causan todos estos residuos es un tema de gran preocupación a nivel mundial, ya que los efectos negativos se hacen cada día más evidentes sobre ecosistemas, animales y los humanos.

El objetivo principal de este trabajo fue obtener humus a partir del aprovechamiento los residuos sólidos urbanos biodegradables generados en el sector informal de Misantla, Veracruz. Para ello, se realizaron distintos tratamientos para evaluar su efectividad, pasando primero de una etapa de composteo a una de vermicompostaje. Los tratamientos que se llevaron a cabo fueron: tratamiento 1 (RV) 100% residuos verdes; tratamiento 2 (RVS1) 70% residuos secos y 30% residuos verdes; tratamiento 3 (RVS2) 70% residuos verdes y 30% residuos secos; tratamiento 4 (RVS3) 50% residuos verdes y 50% residuos secos. Este trabajo se inició con una etapa de recolección y clasificación de residuos orgánicos en el sector informal de Misantla, Veracruz y una segunda etapa con el proceso de vermicompostaje para la obtención de humus y lixiviado, en donde se evaluaron los siguientes parámetros durante el proceso: Relación C/N, temperatura, pH, conductividad eléctrica y humedad. Al finalizar el proceso de vermicompostaje se evaluaron los siguientes parámetros en humus: Humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico y pH. Para el lixiviado se evaluó conductividad eléctrica, pH, sólidos sedimentables y coliformes totales.

## AGRADECIMIENTOS

Este gran paso se lo dedico principalmente a mis padres, que han sido una pieza importante en mi vida, para formarme como un verdadero profesional, porque son las personas más importantes en mi vida, con las que conté, cuento y contaré incondicionalmente. Papá y mamá gracias por apoyarme siempre, estar conmigo cada que lo necesito, cada que no encuentro más motivación para seguir adelante, cada vez que quería tirar la toalla, gracias por permitirme estudiar lo que me apasiona porque nadie más que ustedes saben lo difícil que es y ha sido sacarme adelante, los amo y nuevamente gracias.

A mi hermana Lisset, gracias también por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento que nunca me dejaron caer, ella ha sido una gran inspiración para mí, me ha guiado por un buen camino, me ha hecho crecer como persona y a su vez ser más fuerte, gracias hermana.

A mis amigos con los que he crecido en este largo camino como profesionistas, con los que he compartido tantas cosas buenas y malas, con los que he crecido y aprendido tanto, gracias por escucharme y alentarme siempre.

A todos mis profesores, que sabemos que no ha sido nada fácil llegar a este punto, les agradezco de corazón por compartir su conocimiento conmigo, por sacarme de dudas cuando lo he necesitado.

Por último, quiero agradecer a mi asesor Yovani López González, por ser un gran apoyo para mí, por ser una motivación a seguir adelante, por sus consejos, su compañía en este camino ha sido muy agradable, por apoyarme y sacarme de dudas cada vez que lo he necesitado, muchas gracias.

## ÍNCIDE GENERAL

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Vermicompostaje .....	6
2.2 Vermicompostaje de residuos orgánicos. ....	6
2.3 Factores que influyen en los procesos de vermicompostaje. ....	7
2.3.1 Temperatura. ....	7
2.3.2 Humedad .....	7
2.3.3 Aireación.....	8
2.3.4 pH .....	8
2.3.5 Riego .....	8
2.3.6 Densidad de población .....	9
2.4 Criterios de calidad del vermicompostaje.....	9
2.5 Generalidades y características del humus de lombriz. ....	11
2.5.1 Características físicas.....	11
2.5.2 Características químicas.....	11
2.5.3 Características biológicas.....	12
2.6 Funciones del humus de lombriz.....	12
2.7 Beneficios del vermicompostaje.....	12
2.8 Efectos sobre el medio ambiente .....	13
2.9 Efectos sobre los nutrientes de las plantas.....	13
2.10 Efectos en el suelo.....	14
2.11 Efectos económicos.....	14

2.12 Especies de lombrices utilizadas para el vermicompostaje.....	14
2.12.1 <i>Eudrilus eugeniae</i> . .....	15
2.12.2 <i>Eisenia foetida</i> . .....	15
2.12.3 <i>Perionyx excavatus</i> .....	16
2.12.4 <i>Perionyx sansibaricus</i> . .....	16
2.13 Aspectos generales de la lombriz roja californiana. ....	17
2.14 Origen. ....	17
2.15 Clasificación taxonómica.....	17
2.16 Estructura de cuerpo la lombriz roja californiana. ....	18
2.16.1 Anatomía externa.....	19
2.16.2 Anatomía interna.....	20
2.17 Residuos sólidos urbanos. ....	23
2.18 Clasificación de los residuos sólidos. ....	24
2.19 Estado actual de la producción y gestión de residuos. ....	25
2.20 Problemática de los residuos orgánicos.....	26
2.21 Fertilizantes.....	27
2.22 Clasificación de fertilizantes. ....	28
2.22.1 Fertilizantes minerales. ....	28
2.22.2 Fertilizantes orgánicos. ....	28
2.23 Problemática del uso de fertilizantes.....	29
CAPITULO III. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS). ....	30
3.1 Ubicación geográfica del área experimental. ....	30
3.2 Recolección de residuos orgánicos.....	30
3.3 Pre-composteo.....	32
3.4 Adquisición de la lombriz roja californiana. ....	33
3.4.1 Promedio en peso de las lombrices de las cuatro camas de vermicompostaje.....	34
3.5 Vermicompostaje. ....	34
3.6 Relación C/N necesario para las lombrices.....	35

3.7 Monitoreo de las propiedades físicas y químicas durante el proceso de vermicompostaje. ....	36
3.7.1 Humedad .....	36
3.7.2 pH .....	37
3.7.3 Temperatura .....	38
3.7.4 Aireación .....	38
3.7.5 Densidad de población .....	39
3.7.6 Conductividad eléctrica.....	39
3.8 Evaluación del humus. ....	40
3.8.1 Determinación de pH .....	40
3.8.2 Conductividad Eléctrica. ....	40
3.8.3 Humedad .....	41
3.8.4 Materia orgánica. ....	42
3.8.5 Carbono orgánico. ....	43
3.9 Evaluación de lixiviado.....	43
3.9.1 Determinación de pH. ....	43
3.9.2 Conductividad eléctrica.....	43
3.9.3 Coliformes.....	44
3.9.4 Sólidos sedimentables.....	45
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
4.1 Clasificación y cuantificación los residuos biodegradables generados en el sector informal de Misantla. ....	46
4.2 Construcción del sistema de vermicompostaje. ....	47
4.3 Determinación de pH evaluada durante el proceso de vermicompostaje. ....	48
4.4 Determinación de temperatura evaluada durante el proceso de vermicompostaje. ....	49
4.5 Determinación de Conductividad eléctrica (CE) evaluada durante el proceso de vermicompostaje.....	50
4.6 Determinación de humedad evaluada durante el proceso de vermicompostaje. ....	51

4.7 Relación C/N en los distintos tratamientos.....	53
4.8 Parámetros evaluados para el humus de lombriz. ....	54
4.8.1 pH. ....	54
4.8.2 Conductividad Eléctrica. ....	55
4.8.3 Humedad. ....	57
4.8.4 Materia Orgánica. ....	58
4.8.5 Carbono orgánico. ....	59
4.9 Parámetros evaluados para el lixiviado de lombriz. ....	59
4.9.1 pH. ....	59
4.9.2 Conductividad Eléctrica. ....	61
4.9.3 Solidos Sedimentables. ....	62
4.9.4 Coliformes totales. ....	63
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES .....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz.....	20
Tabla 2.2 Límites máximos permisibles para especificaciones microbiológicas.....	20
Tabla 2.3 Grados de calidad para el humus de lombriz.....	21
Tabla 2.4 Clasificación taxonómica.....	28
Tabla 2.5 Clasificación de los residuos sólidos urbanos.....	34
Tabla 2.6 Principales fertilizantes nitrogenados.....	38
Tabla 3.1 Promedio en peso de las lombrices al inicio del proceso.....	47
Tabla 3.2 Relación C/N de los materiales utilizados en el vermicompostaje.....	48
Tabla 3.3 Parámetros de fertilidad evaluados.....	59
Tabla 4.1 Generación de residuos verdes y secos.....	59
Tabla 4.2 Prueba de medias de pH en humus.....	67
Tabla 4.3 Prueba de medias de CE en humus.....	69
Tabla 4.4 Prueba de medias de humedad en humus.....	70
Tabla 4.5 Prueba de medias de pH en lixiviado.....	74
Tabla 4.6 Prueba de medias de CE en lixiviado.....	75
Tabla 4.7 Prueba de medias de SS en lixiviado.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 <i>Eugeniae</i> .....	25
Figura 2.2 <i>Eisenia foetida</i> .....	26
Figura 2.3 <i>P. excavatus</i> .....	26
Figura 2.4 Lombriz roja californiana ( <i>Eisenia foetida</i> ).....	27
Figura 2.5 Estructura de la lombriz de tierra ( <i>Eisenia foetida</i> ).....	29
Figura 2.6 Estructura externa de la lombriz roja californiana.....	30
Figura 2.7 Corte transversal de una lombriz de tierra.....	31
Figura 2.8 Sistema circulatorio de la lombriz roja californiana.....	32
Figura 2.9 Sistema digestivo de <i>Eisenia foetida</i> .....	33
Figura 3.1 Ubicación geográfica del área experimental.....	43
Figura 3.2 Residuos verdes.....	44
Figura 3.3 Pesado de los residuos verdes.....	44
Figura 3.4 Cama para vermicompostaje.....	45
Figura 3.5 Capa de suelo vertida en la cama.....	45
Figura 3.6 Capa de residuo verde.....	46
Figura 3.7 Capa con 70% residuo seco y 30% residuo verde.....	46
Figura 3.8 Capa 70% residuo verde y 30% residuo seco.....	46
Figura 3.9 Capa con 50% residuo seco y 50% residuo verde.....	46
Figura 3.10 Humedad por capacidad de campo.....	50
Figura 3.11 Obtención de pH con multiparamétrico marca amstast.....	50
Figura 3.12 Obtención de temperatura con multiparamétrico marca amstast.....	51
Figura 3.13 Agitación de la muestra.....	52
Figura 3.14 Filtración de la muestra.....	52
Figura 3.15 Medición de ce.....	52
Figura 3.16 Medición de pH.....	53
Figura 3.17 Medición de ce en humus.....	54
Figura 3.18 Preparación de muestras para humedad.....	54
Figura 3.19 Muestras después de la titulación.....	55

Figura 3.20 lixiviado de los diferentes tratamientos.....	57
Figura 3.21 Medición de ce en lixiviado.....	57
Figura 3.22 Coliformes totales en placas petrifilm.....	58
Figura 3.23 Solidos sedimentables en conos imhoff.....	58
Figura 4.1 Construcción de cama de vermicompostaje.....	61
Figura 4.2 Determinación de pH durante del proceso.....	62
Figura 4.3 Determinación de temperatura durante el proceso.....	63
Figura 4.4 Determinación de conductividad eléctrica durante el proceso.....	64
Figura 4.5 Determinación de humedad durante el proceso.....	65
Figura 4.6 Relación C/N en los distintos tratamientos.....	66
Figura 4.10 Determinación de materia orgánica en humus.....	72
Figura 4.11 Determinación de carbono orgánico en humus.....	73
Figura 4.12 Colonias en RV.....	78
Figura 4.13 Colonias en RVS1.....	78
Figura 4.14 Colonias en RVS2.....	78
Figura 4.15 Colonias en RVS3.....	78

# CAPÍTULO I. GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

El manejo de los residuos sólidos urbanos desde hace muchos años es uno de los más grandes problemas que enfrentan las ciudades de cualquier tamaño ya que el manejo de los RSU requiere de un proceso que va desde recolección, transporte, almacenamiento y tratamiento y algunas veces este proceso no se hace y los residuos se desvían a tiraderos o a basureros a cielo abierto provocando diversos problemas de contaminación y salud pública (Castro, J. A. G., & Pérez, G. B. (2016). Países de América Latina y el Caribe aún no han superado la visión tradicional de recolectar, transportar y disponer los residuos en el exterior de zonas urbanas. En México la composición de los RSU en el año 2012 era de 52.4% de residuos sólidos orgánicos tales como residuos de comida, jardín, frutas y verduras, etc.; el 34% eran residuos aprovechables (13.8% desechos de papel y cartón, 10.9% plásticos, el 5.9% vidrio y el 3.4% metales) y el 13.6% restante se encontraba integrado por otros residuos (12.1%) y textiles (1.4%) (Martínez, 2015). En la región, el reciclaje formal representa poco más del 2% de los residuos (ONU-Hábitat, 2012) aunado a lo anterior el porcentaje de residuos que son recuperados en México es incierto. Los datos dan cuenta que aproximadamente el 5% de los RSU son reintegrados en los sitios de disposición final (INEGI, 2012).

Las actividades más importantes dentro del manejo de los RSU son la separación y el aprovechamiento para actividades de reciclaje o reutilización, los residuos sólidos orgánicos pueden ser aprovechados mediante técnicas como el compostaje y vermicompostaje ya que resultan muy eficientes como abonos orgánicos. Por lo dicho anteriormente, el vermicompostaje se define como la descomposición de residuos sólidos orgánicos por la acción microbiana y degradación completa que hacen las lombrices creando humus que llega al suelo, a los microorganismos y que

puede ser utilizado como abono orgánico en el cultivo. Además de ser un material útil como abono se pueden obtener de este beneficio ambiental, social y económico (Vargas, 2011). El presente trabajo constó de dos etapas de las cuales, en la primera se llevó a cabo la recolección y clasificación de residuos orgánicos en el sector informal de Misantla, Veracruz y una segunda etapa comprendió el proceso de vermicompostaje para la obtención de humus y lixiviado.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Hoy en día hay una enorme problemática en cuanto a los residuos sólidos urbanos que son destinados a vertederos o a basureros a cielo abierto. Este hecho deriva a que es deficiente la cultura en el tema y la multitud de residuos que se generan cada vez es más grande, deteriorando el medio ambiente y a su vez contribuyendo la pérdida de materia orgánica que puede ser utilizada para obtener productos con valor agregado. Estos desechos al ser destinados a un vertedero se compactan formando caldos tóxicos llamados lixiviados que se derraman de los vertederos generando la probabilidad de llegar a cuerpos de agua naturales lo que ocasiona problemas a la salud humana y efectos negativos a la fauna acuática.

Por otro lado, en la actualidad se ha implementado el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura, lo anterior trae problemas económicos desde el punto de vista de la adquisición de dichos fertilizantes, problemas asociados al desequilibrio ecológico, como la pérdida de fertilidad en suelos y contaminación de agua que es utilizada para el consumo humano, animal y vegetal. En este sentido se plantea que la agricultura que utiliza elevadas concentraciones de fertilizantes inorgánicos principalmente nitrogenados, son causantes de la acumulación de nitratos en aguas superficiales y subterráneas llegando a ser tóxicos en determinados niveles. De acuerdo a lo escrito anteriormente la ciudad de Misantla presenta problemas por la mala gestión de sus residuos entre los que destacan los residuos orgánicos generados en su mayor parte por el sector comercial dentro de los que se destaca al mercado municipal donde diariamente se generan y se desechan dichos residuos los cuales se convierten en un problema de salud pública por la generación de insectos y roedores, además de que disminuyen la vida útil del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos del municipio.

### **1.3 Justificación**

Los fertilizantes han causado serios problemas de contaminación ambiental debido a su uso excesivo. Dichos fertilizantes en el tiempo actual no son factibles económicamente para los agricultores que se sustentan de sus cultivos ya que cada día los precios son muy altos y sus ingresos se ven afectados, por esta razón es indispensable buscar nuevas formas alternativas para poder apoyar la producción, y a su vez optimizar la calidad del agua, aire y suelo. Los abonos orgánicos se han calificado como mejoradores de calidad del suelo dado que las porciones que se usan en comparación con un fertilizante inorgánico son más favorecedoras y proporcionan minerales más aptos para los cultivos. Por ello una de las alternativas es el vermicompostaje dado que es un método de biotransformación de residuos orgánicos muy eficiente, debido a la producción de humus de alta calidad que proporcionan las lombrices al alimentarse de materia orgánica y que al desecharse a través de su excremento contiene minerales como fósforo, potasio, calcio y nitrógeno haciendo que el suelo sea mucho más fértil. Es un abono totalmente natural, lo cual lo hace factible y puede ser un sustituto de los fertilizantes inorgánicos que son procesados y que muchos de ellos contienen herbicidas y pesticidas que afectan el suelo. Otra de las ventajas que trae consigo el aprovechamiento de los residuos orgánicos es que con este proceso también se reducirán emisiones de gases tóxicos como el metano que son expulsados a la atmósfera y crean un potencial de calentamiento global.

El aprovechamiento de residuos sólidos urbanos beneficiará al municipio de Misantla, Veracruz principalmente al departamento de limpieza pública ya que estos residuos no se destinarán a un vertedero o basurero a cielo abierto. De igual manera también a las personas que se dedican a la recolección de estos residuos facilitando el proceso de clasificación de desechos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Aprovechar los residuos sólidos urbanos generados en la zona del mercado de Misantla, Veracruz mediante una técnica de vermicompostaje.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- 1.- Clasificar y cuantificar los residuos biodegradables generados en el sector informal.
- 2.- Operación y construcción de camas de compostaje.
- 3.- Seguimiento de las propiedades físicas y químicas del proceso de vermicompostaje.
- 4.- Análisis físico-químicos de humus y lixiviado.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

### **2.1. Vermicompostaje**

El proceso de vermicompostaje radica sobre la importancia en el manejo de residuos orgánicos a pesar de que Darwin (1881) aclaró lo importante de este proceso después de muchos años se empezó a introducir el concepto y estudiar científicamente el vermicompostaje abriendo campo a desarrollar trabajos para el buen manejo de residuos. Entonces, el vermicompostaje es una biotransformación que se manifiesta al degradar la materia orgánica a través de lombrices para la obtención del humus. Se producen vermicompost utilizando lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) para descomponer y estabilizar la materia orgánica (Metzger, 2007).

### **2.2 Vermicompostaje de residuos orgánicos.**

El proceso de vermicompostaje es la biooxidación y estabilización que utiliza como fuente de alimento la materia orgánica (restos de frutas y verduras, restos de comida) medida por la acción de microorganismos y lombrices bajo condiciones aerobias y mesófilas con el fin de obtener un producto estabilizado (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014).

Este proceso de biotransformación aprovecha la actividad de las lombrices para acelerar la descomposición y humificación de la materia orgánica de forma directa (alimentación detritívora) o indirecta (estimulo de la actividad microbiana). De tal manera que optimiza la estructura del producto final y favorece la formación de agregados estables. (Vargas-Machuca, 2010).

## **2.3 Factores que influyen en los procesos de vermicompostaje.**

Para el manejo eficaz del proceso de vermicompostaje existen factores que intervienen para que se lleve a cabo y se ven afectados principalmente por condiciones ambientales. De manera general existen 3000 especies de lombrices con las que se puede realizar este proceso, no obstante, la lombriz roja californiana (*Eiseina foetida*) es de las más utilizada debido a su alta tasa de crecimiento, rusticidad, alta eficiencia productiva y manejo (Guadarrama y Taboada, 2004; Gheisari *et al.*, 2010). Por ende, se ha estudiado que las lombrices responden de diferente manera a estos procesos, tienen límites de tolerancia y potencial dependiendo de distintos parámetros.

### **2.3.1 Temperatura.**

Lo ideal para un buen desarrollo de las lombrices es de 20° a 30° C, pero éstas pueden sobrevivir entre temperaturas desde 0 hasta 42° C, esto puede controlarse con cualquier termómetro hogareño (Montes y Ruiz, 2013).

### **2.3.2 Humedad**

Para Legall y Col. (2006), las lombrices entran en un periodo de tolerancia en humedades arriba del 85% en consecuencia se ve afectada la producción de vermicompostaje y biomasa. Asimismo, humedades abajo del 70 y 80% son perjudiciales para su desarrollo ya que pueden ocasionarle la muerte debido a la dificultad para obtener oxígeno del agua (ADEX, 2002).

### **2.3.3 Aireación**

La aireación es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices. Las lombrices no pueden sobrevivir en condiciones anaeróbicas, cuando factores como una alta concentración de grasas en la comida o exceso de humedad combinada con una aireación inadecuada, puede existir la posibilidad de que se convierta un sistema anaeróbico, por lo que pueden morir las lombrices (Bravo 2021).

### **2.3.4 pH**

Se debe tomar muy en cuenta el pH en el proceso de la obtención del humus de lombriz, el más apropiado es el básico entre 6,5 a 7,5. Un pH ácido, puede ocasionar serios problemas a las lombrices, pudiendo llevarlos hasta la muerte (Izquierdo, 2016).

### **2.3.5 Riego**

El riego es algo muy importante en el proceso del vermicompostaje esto le da movimiento a la lombriz para que pueda alimentarse, por otro lado, les ayuda a respirar, para ello es recomendable que la humedad este entre 70 a 80 %, una manera práctica de comprobar la humedad es tomando con la mano un puño de alimento, presionarlo y observar si gotea 7 a 10 gotas de agua está al 70%, (Izquierdo, 2016). El riego puede hacerse con agua limpia y dependiendo de las condiciones ambientales y del espesor de la capa de sustrato con lombrices (Dueñas, 2007).

### 2.3.6 Densidad de población

Las lombrices también se ven afectadas por la densidad de población (efecto poblacional sobre la tasa de reproducción) ya que pueden presentarse problemas de sobrepoblación de individuos, por ello es importante tomar un control de ello. Hernández *et al.*, (2005, a, b), llevaron a la práctica evaluaciones a escalas medias con unidades de 1  $m^2$  sobre las frecuencias de alimentación de densidad poblacional, en estas evaluaciones se han empleado densidades de hasta 4000 lombrices (Hernández *et al.*, 2005a) y frecuencias de alimentación de 0 hasta 3 fracciones (Hernández 2005b).

### 2.4 Criterios de calidad del vermicompostaje.

El humus está formado principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrogeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos benéficos, hormonas y todo los macro y micro nutrientes con valores que dependen de las proporciones y de las características químicas del sustrato que sirvió como alimento a las lombrices. El humus de lombriz cumple un rol trascendente al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, influyendo de manera química, física y Biológica (Días, 2002).

En la tabla 2.1 y 2.2 se muestran las especificaciones fisicoquímicas, límites máximos permisibles y grados de calidad de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2008.

Tabla 2.1 Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz (Lombricomposta).

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
<b>Nitrógeno total</b>	De 1 a 4%
<b>Materia orgánica</b>	De 20% 50%( base seca)
<b>Relación C/N</b>	$\leq 20$
<b>Humedad</b>	De 20 a 40% (sobre materia húmeda)
<b>pH</b>	De 5.5 a 8.5
<b>Conductividad eléctrica</b>	$\leq 4 \text{ dS } m^{-1}$

<b>Capacidad de intercambio catiónico</b>	>40 cmol $kg^{-1}$
<b>Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)</b>	0.40 a 0.9 g $ml^{-1}$
<b>Materiales adicionales</b>	Ausente

Fuente: NMX-FF-109-SCFI-(2008).

Tabla 2.2 Límites máximos permisibles para especificaciones microbiológicas.

<b>Microorganismo</b>	<b>Tolerancia</b>
<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000 NMP por g en base seca
<b>Salmonella spp 3 NMP en 4 g, en base seca</b>	1 en 4 g, en base seca
<b>Huevos de helmintos viables **</b>	1 en 4 g, en base seca
<b>Hongos Fitopatógenos **</b>	Ausente

Fuente: NMX-FF-109-SCFI-(2008).

Tabla 2.3 Grados de calidad para el humus de lombriz.

<b>Atributos</b>	<b>Extra</b>	<b>Primera</b>	<b>Segunda</b>
<b>Material mineral extraño (% sobre materia seca p/p)</b>	De 0.0 a 1.5%	De 1.51 a 3,0%	3.1 a 5.0%
<b>Material orgánico no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p)</b>	De 0 a 3.0%	De 3.1 a 6.0%	De 6.1 a 10.0%
<b>Material inerte (% Vidrio, metales,</b>	<0.5%	De 0.51 a 1.0%	De 1.01 a 1.5%

<b>plásticos, etcétera).</b>			
<b>Semillas viables (semillas L-1)</b>	≤1	>1 - ≤1.5	>1.5 - ≤2
<b>Lombrices vivas (lombrices L-1)</b>	< 0.2 (una por cada 5 L).	0.2 (una por cada 5 L).	0.4 (dos por cada 5 L).

Fuente: NMX-FF-109-SCFI-(2008).

## 2.5 Generalidades y características del humus de lombriz.

El humus de lombriz es un tipo estiércol biodinámica, que contiene minerales, y un mayor número de enzimas, hormonas, vitaminas, población microbiana); nutritivamente es más rico que el humus del suelo (Von, 2000).

### 2.5.1 Características físicas.

Gonzalo y Páez (2005) dicen que el humus es un bio fertilizante con un color oscuro o negro característico, este es suave al tacto, de aspecto esponjoso, ligero fácil de manejar e inodoro, con una densidad volumétrica entre  $0.5-0.7 \text{ gr} / \text{cm}^3$ , granuloso con un aspecto muy fino lo que hace que actúe de manera rápida en el suelo en menor tiempo. El olor que lo caracteriza es un olor a humedad o a bosque húmedo y este olor puede ser un aviso de que nuestro humus ya está listo para poder aprovecharse.

### 2.5.2 Características químicas.

El humus es soluble en agua por lo que puede ser utilizado como abono líquido, foliar o fertirriego. Es inodoro y aunque se dosifique en exceso, no quema a las

plantas, aún las más jóvenes y delicadas debido a su pH neutro (Hernández, 2006). Enriquece el suelo de sustancias orgánicas y minerales esenciales. Promueve la asimilación de los nutrientes transformándolos en formas asimilables. Además conserva y eleva el contenido orgánico de los suelos (Claros, 2013).

### **2.5.3 Características biológicas.**

Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana por lo que aumenta la solubilización de los nutrientes siendo benéficas para las raíces. Es considerado un elemento natural para la regeneración de suelos.

## **2.6 Funciones del humus de lombriz.**

### **a) Como enmienda:**

Debido a que es un material orgánico que corrige problemas de alcalinidad y acidez en el suelo (Dionicio Machari, G. A. 2008).

### **b) Como fertilizante:**

Como fertilizante provoca efectos positivos sobre la fertilidad del suelo, tanto física, química y biológica, así como sobre el rendimiento de la producción el cual se ve incrementado (Benítez *et al.*, 2000; Saavedra, 2007).

## **2.7 Beneficios del vermicompostaje.**

La población humana está continuamente aumentando y para el año 2050, se proyecta que la población mundial será un 50% mayor que la cifra actual. Los recursos naturales disponibles, como la tierra cultivable y el agua necesarios para apoyar a la raza humana son limitados (Arthur *et al.*, 2012). Los suelos cada vez son menos fértiles es por eso que es necesario buscar alternativas para el uso eficiente del suelo.

Avilés (2011) menciona múltiples beneficios del vermicompostaje tanto en el ámbito ambiental como en el económico y social, dentro del ámbito ambiental nos menciona los efectos en el medio ambiente y nuestro alrededor, efectos positivos en plantas y en el suelo, a nivel económico se derivan otras actividades agropecuarias y en la medicina trayendo consigo beneficios sociales.

### **2.8 Efectos sobre el medio ambiente:**

- Haciendo buen uso de los residuos orgánicos, el mecanismo de transformación de la materia orgánica mediante el vermicompostaje inhibe la liberación de sustancias que contaminan suelo, agua y aire, que son producidos por la descomposición de dicha materia.
- El vermicompostaje domestico permite aprovechar los residuos orgánicos transformándolos en abono para las plantas del hogar.
- La materia prima empleada en esta técnica puede ser cualquier tipo de residuo orgánico lo cual lo hace amigable con el medio ambiente.
- Es un producto 100 % natural.

### **2.9 Efectos sobre los nutrientes de las plantas.**

- Contiene elementos esenciales para el desarrollo de las plantas como nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio y eso lo hace muy útil como fertilizante orgánico.
- Incide en forma efectiva en la germinación de las semillas y previene enfermedades ocasionadas por trasplante y cambios de temperatura y humedad.

## 2.10 Efectos en el suelo.

Resulta favorablemente como biorregulador, las tierras ricas en humus son más blandas, aireadas y resistentes a las sequias por lo que le resulta fácil a la circulación del agua y raíces.

## 2.11 Efectos económicos.

Existen productos que derivan de esta técnica como lo son:

- **Pie de cría:** Producción de lombrices para el establecimiento de nuevos cultivos de vermicompostaje.
- **Alimentación:** Por el alto valor proteico de las lombrices pueden ser utilizadas como fuente de alimento para peces de ornato y la rana toro.
- **Biopreparados y usos en la medicina:** Tiene efectos medicinales porque contiene tirosina y lumbrofebrina y actúa como antihipertensivo.

## 2.12 Especies de lombrices utilizadas para el vermicompostaje.

Las especies de lombrices en existencia son aproximadamente 8302 de acuerdo a Reynolds & Wetzell (2010) y se destacan 68 especies nuevas cada año.

Algunos expertos recomiendan especies epigélicas de superficie para vermicompostaje. Un reporte preparado por CAPART recomienda especies epigélicas como *Eudrilus eugeniae*, *E. foetida*, *P. excavatus* y *P. sansibaricus*. (Abbasi, 2004).

### 2.12.1 *Eudrilus eugeniae*.

*E. eugeniae* (Fig. 2.1) es una especie tropical de África soporta temperaturas arriba de 20 a 25 °C y temperaturas abajo de 15 °C, tiene una longitud de 10 a 22 cm, una masa de 6.5 gr, y un ciclo de vida de 130 días (Filho, 2005).



Figura 2.1 *E. eugeniae*.

### 2.12.2 *Eisenia foetida*.

La especie *Eisenia foetida* (Fig. 2.2) es la más usada para el proceso de vermicompostaje las condiciones adecuadas para de desarrollo en cuanto a temperatura es de 20 a 33 °C, una humedad de 65 a 80 %, un pH de 5.5 a 9 según (Barbado, 2003).



Figura 2.2 *Eisenia foetida*.

### 2.12.3 *Perionyx excavatus*.

La especie *Perionyx excavatus* es nativa de Asia (Fig. 2.3), sobrevive a bajas temperaturas (4 °C) y es menos capaz que *E. eugeniae* de soportar temperaturas elevadas (alrededor de 30 °C). Su ciclo de vida dura entre 40–50 días y las jóvenes alcanzan la madurez sexual en 20–28 días especie prolífica y fácil de manejar, su ciclo de vida y su capacidad para el vermicompostaje de residuos orgánicos han sido estudiados en condiciones controladas por diversos autores (Kale *et al.*, 1982, Reinecke & Hallatt 1989, Hallatt *et al.*, 1990, Reinecke *et al.*, 1992, Hallat *et al.*, 1992, Edwards *et al.*, 1998).



Figura 2.3 *P. excavatus*

### 2.12.4 *Perionyx sansibaricus*.

La especie *Perionyx sansibaricus* epigea se puede localizar más que nada en aguas residuales, estiércol, pilas de compostaje y hojas en descomposición. Suthar (2006) con sus estudios demuestra lo eficiente que es para la descomposición de distintos tipos de residuos tales como residuos agrícolas, estiércol de vaca y residuos orgánicos sólidos.

### 2.13 Aspectos generales de la lombriz roja californiana.

Las lombrices son un recurso de gran potencial y juegan un papel muy importante dentro de la sostenibilidad de la agricultura ya que contribuyen al reciclaje, la degradación de materia orgánica y el equilibrio del suelo (Räty y Huhta, 2004). La Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) (Fig. 2.4) es una de las especies de lombriz que es más utilizada para el vermicompostaje (abono orgánico), por sus características nutricionales, biológicas y físicas que la hace muy eficaz.



Figura 2.4 Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

### 2.14 Origen.

En EE. UU se descubrieron las propiedades favorables de lombriz roja Californiana (*Eisenia foetida*) en el ecosistema donde se pudieron establecer los primeros depósitos (Giraldo, 2007).

### 2.15 Clasificación taxonómica.

En la tabla 2.4 se muestra la clasificación taxonómica de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*. En donde se muestran 9 categorías.

Tabla 2.4 Clasificación taxonómica.

Reino	Animal
Sub-reino	Metazoos
Phylum	Protostomia
Tipo	Analida
Clase	Olgoqueta
Orden	Opistoporo
Familia	Lombricidae
Genero	Eisenia
Especie	Foetida

Fuente: Darío Taiariol (2010).

### **2.16 Estructura de cuerpo la lombriz roja californiana.**

El cuerpo de la lombriz se compone 143 anillos o segmentos. En el primer segmento esta la cabeza que carece de ojos, los labios bucales y el prostomio. La lombriz de tierra en cada una de sus segmentos tiene 8 cerdas insertadas directamente en la piel, la cual esta revestida de una cutícula quitinosa. En los anillos 14 y 15 se abren los ojuelos genitales, a simple vista se observan unos anillos abultados que corresponden a los comprendidos entre el 33 y 37 que reciben el nombre de clitelo Mendoza (2018).

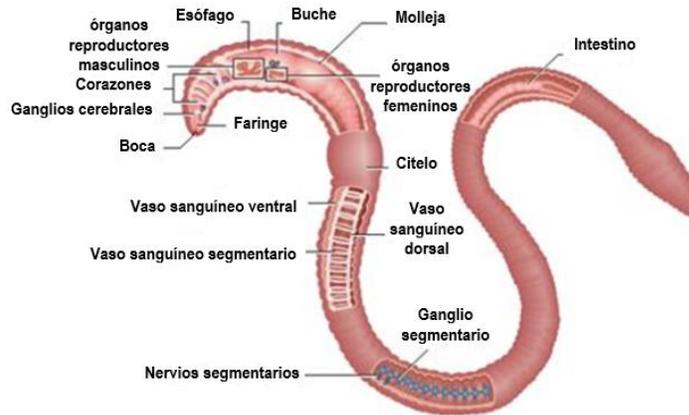


Figura 2.5 Estructura de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*.

### 2.16.1 Anatomía externa.

Dentro de su anatomía externa (Fig. 2.6) se puede mencionar la forma de la lombriz y tiene una longitud que varía de entre los 15 a 30 cm y de diámetro de 3 a 25 mm según Boolootian (2005). La lombriz tiene un cuerpo con simetría bilateral, su estructura es alargada y segmentada. El clitelium es un anillo muy característico de ellas y se sitúa aproximadamente un poco antes de la mitad de su cuerpo, es notable cuando estas lombrices llegan a la madurez o alcanzan periodos reproductivos, su espesor varía de acuerdo a la especie (Briceño Alemán, A. A., & Pérez Reyes, A. C. 2017).

La lombriz roja californiana presenta un color rojo oscuro, respira por la piel y pesa de 0.24 mg a 1 g Sánchez, (2003); Coronel, (2001); esta lombriz puede llegar a vivir de 4 a 16 años, bajo ciertas condiciones, puede llegar a producir hasta 1300 lombrices al año; la incubación es de 14 a 21 días, maduran sexualmente a los 90 días, (Sánchez, 2003).

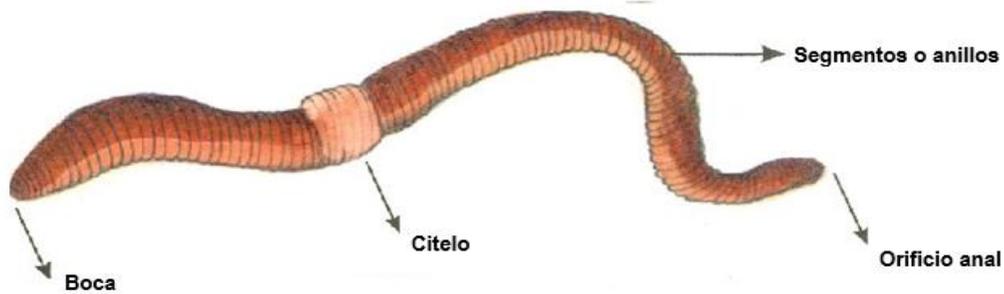


Figura 2.6 Estructura externa de la lombriz roja californiana.

### 2.16.2 Anatomía interna.

La anatomía interna de la lombriz roja californiana consta de diversas partes dentro de las cuales se encuentran:

- a) **Epidermis:** Esta ubicada debajo de la cutícula, es un epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa. Es la responsable de la formación de la cutícula y del mantenimiento de la humedad y flexibilidad de la misma.
- b) **Cutícula:** Es una lamina muy delgada de color marrón quitinoso, fina y brillante (Neumann, 2001; INFOAGRO Lombricultura, s.f.). Comprende numerosos poros que otorgan la segregación de las glándulas epidérmicas unicelulares.
- c) **Celoma:** Es una estructura que contiene líquido celómico y se extiende a lo largo del animal dividido en segmentos por los septos, que corresponden a los surcos externos. Esta cavidad está llena de un líquido incoloro que viaja de un segmento a otro cuando la lombriz se contrae, actuando como esqueleto hidrostático (Giraldo, 2007; Taiariol, 2010).
- d) **Peritoneo:** Queda colindando por la parte externa del celoma de la lombriz y es la capa más interna (Neumann, 2001; INFOAGRO Lombricultura, s.f.).

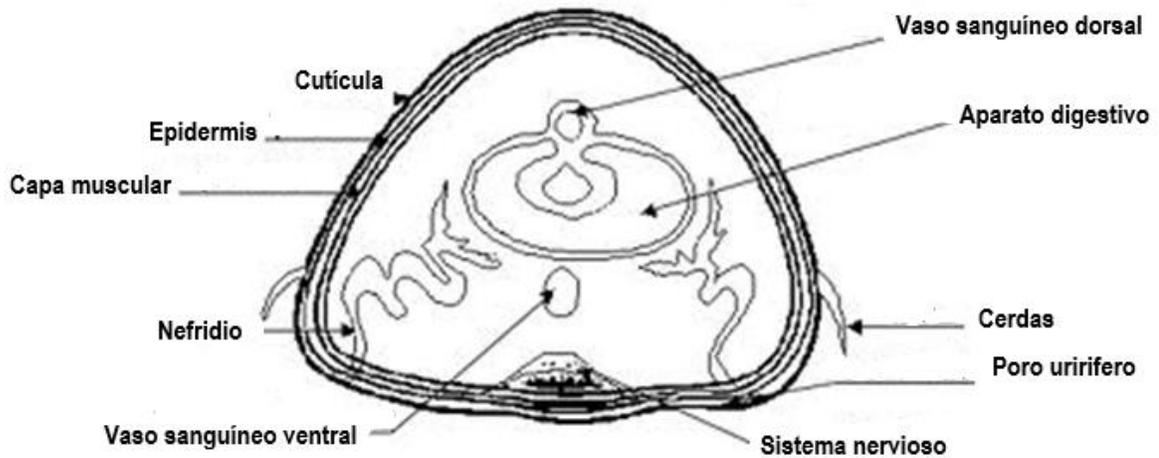


Figura 2.7 Estructura interna de la Lombriz roja californiana.

La lombriz consta de cinco sistemas que requiere para su vital desarrollo y son:

- a) **Sistema circulatorio:** Este sistema está formado por vasos sanguíneos (Fig. 2.8), en el caso de las lombrices, ellas tienen dos vasos sanguíneos una dorsal y el otro ventral, con ayuda de otros capilares llevan la sangre a todo el cuerpo. La sangre circula en un sistema cerrado constituido por cinco pares de corazones.

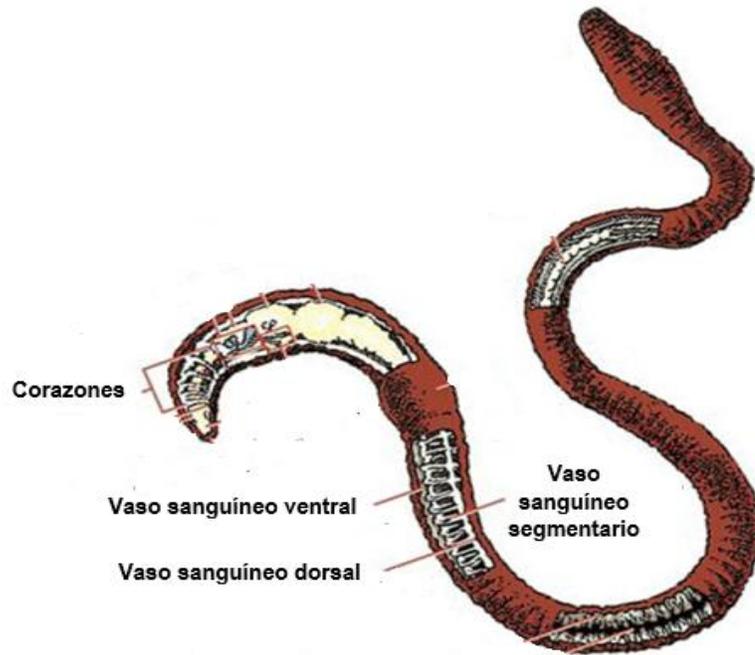


Figura 2.8 Sistema circulatorio de la lombriz roja californiana.

**b) Sistema Digestivo:** Este sistema está formado por un tubo recto (Fig. 2.9), que va desde la boca hasta el ano. Dentro de él se encuentra la cavidad bucal, faringe, buche, molleja, esófago, glándulas calcíferas, intestino, tifosol y ano (Castillo, 2013).

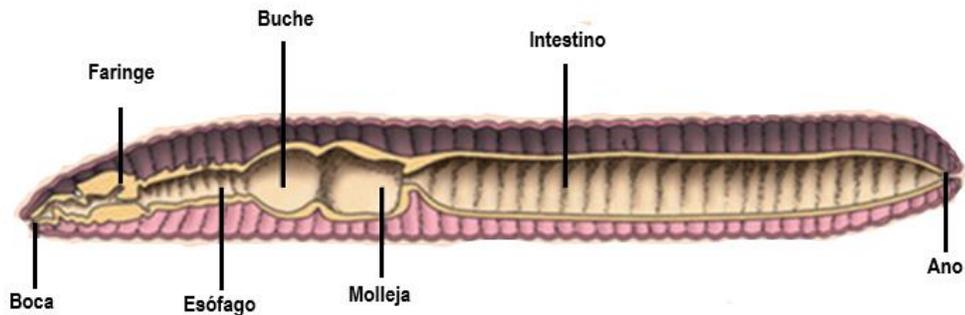


Figura 2.9 Sistema digestivo de *Eisenia Foetida*.

**c) Sistema circulatorio cerrado:** Por un sistema de vasos la sangre circula a diferencia de un sistema abierto de otros invertebrados.

**d) Sistema tegumentario muscular:** Su estructura está formada por cutícula, epidermis, tejido conectivo muscular, circular externo, longitudinal externo y peritoneo.

- **Epidermis:** Esta ubicada debajo de la cutícula, es un epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa. Es la responsable de la formación de la cutícula y del mantenimiento de la humedad y flexibilidad de la misma.
- **Cutícula:** Es una lamina muy delgada de color marrón quitinoso, fina y brillante (Neumann, 2001; INFOAGRO Lombricultura, s.f.). Comprende numerosos poros que otorgan la segregación de las glándulas epidérmicas unicelulares.
- **Peritoneo:** Queda colindando por la parte externa del celoma de la lombriz y es la capa más interna (Neumann, 2001; INFOAGRO Lombricultura, s.f.).

**e) Sistema circulatorio e intercambio de gases:** En este sistema cerrado la sangre fluye en los vasos sanguíneos, que a su vez se constituyen del vaso dorsal, vaso ventral, vaso subneural, vasos laterales y red de capilares.

## **2.17 Residuos sólidos urbanos.**

Desde el punto de vista de Jaramillo (2008) define a los residuos sólidos urbanos como los provenientes de desechos orgánicos y en su mayoría son biodegradables, es decir se degradan naturalmente.

Una definición más actual de lo que son los residuos sólidos urbanos está dicha por Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Secretaría de Gobernación, 2014), que los define como aquellos generados en casas habitación, que resultan actividades domésticas, de los productos de consumo ya sea envases, embalajes o empaques; residuos que provienen de cualquier otra actividad en la vía

pública que genere residuos con características domésticas, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra clase.

## 2.18 Clasificación de los residuos sólidos.

Para Muñoz, M. (2004) los residuos sólidos urbanos se clasifican en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos, los orgánicos son todos aquellos que origen biológico que nace, crece, se reproduce y muere, comúnmente son aquellos restos de plantas, animales y comida, mientras que los inorgánicos son los residuos no biodegradables y son materiales que pueden reciclarse.

En la tabla 2.5 se clasifican a los residuos sólidos urbanos según el origen del residuo:

Tabla 2.5 Clasificación de los residuos sólidos urbanos.

<b>FUENTE</b>	<b>INSTALACIONES, ACTIVIDADES O LOCALIZACION DONDE SE GENERAN</b>	<b>EJEMPLOS</b>
<b>Residuos domésticos</b>	El que por naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.	Los productos derivados de la alimentación y de la cocina , residuos verdes, el papel, etc.
<b>Residuos comerciales</b>	Aquel que es generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, bodegas, hoteles, restaurantes, cafeterías, plazas de mercado y otros.	Embalajes, residuos orgánicos de mercado.
<b>Residuos de demolición</b>	Son desechos sólidos producidos por la construcción de edificios, pavimentos, obras de arte de la construcción, brozas, cascote, etc., que quedan de la creación o derrumbe de una obra de ingeniería	Tierra, ladrillos, material pétreo, hormigón simple y armado, metales ferrosos y no ferrosos, maderas, vidrios, arena, etc.
<b>Residuos de barrido de calles, limpieza de</b>	Son los originados por el barrido y limpieza de las calles, parques y jardines.	Hojas, ramas, polvo, papeles, residuos de frutas, excremento humano y de animales,

<b>jardines y parques</b>		vidrios, cajas pequeñas, animales muertos, cartones, plásticos
<b>Residuos Hospitalarios</b>	Son los generados por las actividades de curaciones, intervenciones quirúrgicas, laboratorios de análisis e investigación y desechos asimilables a los domésticos que no se pueda separar de lo anterior.	Las agujas, jeringas, sondas, catéteres etc.
<b>Residuos Industriales</b>	Aquel que es generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción.	Aluminio, cobre, muebles viejos, polietileno, vidrio, envases de cartón, periódicos, revistas y papel fino, y cajas de cartón corrugado.
<b>Residuos Peligroso</b>	Es todo aquel desecho, que por sus características representan un peligro para los seres vivos, el equilibrio ecológico o el ambiente.	Relaves mineros, derrames industriales en cauces superficiales.

Fuente: TULSMA 2013.

## 2.19 Estado actual de la producción y gestión de residuos.

En la vida actual, la producción de residuos y la contaminación que estos generan es un tema prioritario de la Agenda Pública en México y en el mundo debido a las repercusiones sociales y ambientales que representa (Rodríguez, A. V., & López, M. G. C. 2020). Existen diversos factores que intensifican esta problemática, tales como el incremento en los niveles de producción de residuos, los altos índices de consumo y la falta de un sistema adecuado de manejo y control, entre otros (Bernache, 2009). Los procesos de disposición final de los residuos en América Latina no están estrictamente regulados pues ni el proceso de recolección está claramente definido (Canchucaja, 2018). Dentro de los residuos que son generados se encuentran los residuos orgánicos que tienen propiedades de acuerdo a su origen como lo son lodos de depuradoras, estiércol, etc.) por otro lado el manejo de estos residuos se ve relacionado al interés público, ambiental y social debido al efecto que causan como emisiones y los lixiviados (Briceño y col., 2007).

## **2.20 Problemática de los residuos orgánicos.**

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales (SEMARNAT) menciona que la generación de residuos sólidos en un momento dado es incontrolable, de manera que la reducción desde el origen de residuos sólidos, aunque no esté controlada del todo es considerada un método para limitar las cantidades de residuos sólidos (SEMARNAT, 2011).

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) tiende a aumentar a través del tiempo debido al crecimiento poblacional y también debido a los hábitos del consumo (Bernache, 2011). La Organización de las Naciones Unidas (ONU), informa que América Latina y el Caribe, producen un volumen de casi 540 mil toneladas diarias y se calcula que, para el 2050, llegue a 671 mil toneladas cada día (Arenas 2018).

En México, según SEMARNAT (2020), se producen 120,128 t/día, más de la mitad de RSU provienen de desperdicios de alimentos y restos de jardines, y casi una tercera parte son plástico, vidrio, papel, cartón, textil y metal. Por lo tanto, en México se han generado impactos adversos a la naturaleza, contaminación al medio ambiente, costos financieros, afectaciones sociales que repercuten a la salud del hombre (Díaz, 2018).

Con toda esta problemática se han desplegado una serie de disposiciones específicas al respecto como Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, además de formular un Plan de prevención y gestión para el manejo integral de los residuos, en cambio, los resultados aún son insuficientes y lo muestran algunos datos como la tasa de crecimiento de generación de residuos, la composición de éstos, altos costos de transporte, la continua práctica de la quema, rellenos sanitarios insalubres, entre otras cuestiones, ante todo esto surgen ideas sobre estrategias que se requieren para lograr un manejo sustentable de los residuos sólidos urbanos de una localidad (Díaz, 2018).

Los gobiernos locales no logran asumir una gestión integral de residuos. La gestión integral de los residuos es un componente central para mejorar la calidad de vida de las personas y salvaguardar el medio ambiente, esto lo determino el Plan de Acción de la Agenda 21. (ONU-HABITAT, 2012).

### **2.21 Fertilizantes.**

Un fertilizante puede ser natural o industrializado (inorgánico) y debe contener el 5% de uno de los cinco nutrientes primarios (N, P<sub>2</sub>, O<sub>5</sub>, K, O) o más de tres. Su eutrofización (que es una acumulación anormal de materia orgánica) y la proliferación de algas, que desplazan otras especies y desarticulan la dinámica natural de los ecosistemas.

Según Díaz, E. R., & Guzmán, M. (2004) los fertilizantes se definen como un producto químico, en este caso inorgánico, que aporta elementos nutritivos para las planta, por otro lado nos dice que es una sal inerte sin carga que al mezclarse con el agua se disocia dejando nutrientes en forma iónica, es decir elementos con carga negativa (aniones) o con carga positiva (cationes). El uso de fertilizantes minerales en conjunto con otros factores de los sistemas de producción, ha permitido incrementar los rendimientos de los cultivos y que aplicados en forma correcta se logra mantener la fertilidad de los suelos. Sin embargo, el uso excesivo e incorrecto origina problemas de salinización de suelos y contaminación de acuíferos, ha dado lugar a descalificar su uso (Díaz, E. R., & Guzmán, M. 2004).

## **2.22 Clasificación de fertilizantes.**

Existen varios fertilizantes que contienen nutrientes para las plantas para elevar su nivel nutricional los cuales muchos de ellos son inorgánicos, es decir con contenido químico.

### **2.22.1 Fertilizantes minerales.**

Estos fertilizantes consisten generalmente en sales inorgánicas. Los más empleados son los tipos nitrogenados, fosfóricos, potásicos y calizos. Se dividen en:

- Sintéticos: Este es un fertilizante terminado, que se produce mediante un proceso industrial. Los fertilizantes sintéticos más utilizados son la: Urea, superfosfatos, nitrato de amonio y de potasio y de Calcio, sulfato de magnesio (Salazar, 2007; Cerisola, 2015).

- Naturales: Es el fertilizante obtenido de forma natural, de depósitos minerales, y luego son empacados para ser comercializados. Los más utilizados son la roca fosfórica, cloruro de potasio, nitrato de sodio (salitre de Chile), etc. (Salazar, 2007; Cerisola, 2015).

### **2.22.2 Fertilizantes orgánicos.**

Es el fertilizante de origen animal y vegetal cuya función principal es aportar grandes cantidades de nutrientes a las plantas y mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo, mejorando su estructura (Cerisola, 2015).

### **2.23 Problemática del uso de fertilizantes.**

La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse en las aguas subterráneas o ser arrastrados a cursos de agua. Esta sobrecarga de nutrientes provoca la eutrofización de lagos, embalses y estanques y da lugar a una explosión de algas que suprimen otras plantas y animales acuáticos (FAO, 2015).

La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles, con el fin de lograr mayor rendimiento en los cultivos. Pero la aplicación excesiva de estos ha generado: eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad. Cabe destacar que las plantas pueden absorber entre un 30% y 50% de los fertilizantes químicos, el resto se pierde en el suelo (González, 2019).

El uso excesivo de fertilizantes trae como consecuencias:

- ✓ Contaminación del agua, por ejemplo, la eutrofización de lagos.
- ✓ Alteración de ciclos naturales de nutrientes de los suelos.
- ✓ Introducción de elementos nocivos al suelo (metales pesados, como impurezas).
- ✓ Aceleración de la acidificación del suelo.
- ✓ Inhibición en la absorción de la raíz de algún nutriente esencial; promoción de efectos tóxicos en las raíces de plantas (Ringuelet y Gil, 2005).

## CAPITULO III. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS).

### 3.1 Ubicación geográfica del área experimental.

El presente proyecto se llevará a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla en un área con las condiciones adecuadas para el proceso de vermicompostaje (Fig. 3.1). Para ser más exactos en el área ambiental del ITSM, con coordenadas  $19^{\circ}56'59.69''$  N  $96^{\circ}50'39.56''$  O con una elevación de 275 m. Iniciando el día 4 de marzo del 2019 y finalizando el día 3 de diciembre del 2019.



Figura 3.1 Ubicación geográfica del área experimental.

### 3.2 Recolección de residuos orgánicos.

En este proceso se llevó a cabo la recolección (Fig. 3.2), clasificación, cuantificación y pesado de los residuos orgánicos verdes y secos que a diario los vendedores del sector informal en la zona de mercados de Misantla son acumulados y no ocupan (Fig. 3.3).

La recolección de este tipo de residuo se llevó a cabo empezando el 4 de marzo del 2019, dirigiéndome a los puestos de los vendedores del sector informal en donde en total son 9 puestos de frutas y verduras en su mayoría. Durante tres semanas se realizó la recolección de residuos y la recolección se llevó a cabo lunes, miércoles y viernes en 4 de los 9 puestos esto debido a que los demás puestos venden frutas y sus desechos los ocupan. Finalizando la recolección el día 2 de abril del 2019.



Figura 3.2 Residuos verdes.



Figura 3.3 Pesado de los residuos verdes.

Posterior a la recolección se pesaron los residuos verdes entregados por parte del sector informal. No varía mucho el desecho verde ya que en su mayoría son restos de quelites, cascara de frijol, cascara de pepino, erizo y cilantro.

La recolección de los residuos secos se llevó a cabo de la misma manera que los verdes y en la misma fecha finalizando de igual manera. Esto debido a que en algunas ocasiones los puestos no acumulaban residuos secos durante el día.

### 3.3 Pre-composteo

El pre-composteo es una fase de preparación del sustrato para las lombrices ya que estas no pueden ser sometidas a las camas cuando el proceso de fermentación se está llevando a cabo, también porque su pH es más ácido lo cual las lombrices no toleran este nivel de acidez durante la descomposición de residuos orgánicos.

1.- Para empezar a realizar este proceso se construyeron 4 camas las cuales fueron hechas el 5 de abril y se construyeron con rejas y plástico sellado a ellas para no permitir la salida de residuos (Fig. 3.4).



Figura 3.4 Cama para vermicompostaje.

2.- Después se llevó a cabo la recolección de suelo lo cual fue tomado de áreas verdes del ITSM y posteriormente fue tamizado con ayuda de un tamiz del número 8. Este suelo fue depositado en las camas y a cada una se le agregó una capa de 2 kg (Fig. 3.5).



Figura 3.5 Capa de suelo vertida en la cama.

3.- Se le agregaron los residuos verdes y secos. A la primera se le agregaron solo residuos verdes (Fig. 3.6), a la segunda un 70% residuos secos y un 30% residuo verde (Fig. 3.7), a la tercera 70% verdes y 30% secos (Fig. 3.8), a esta ultima 50% verdes y 50% secos (Fig. 3.9).



Figura 3.6 Capa de residuo verde.



Figura 3.7 Capa con 70% residuo seco y 30% residuo verde.



Figura 3.8 Capa con 70% residuo verde y 30% residuo seco.



Figura 3.9 Capa con 50% residuo seco y 50% residuo verde.

### 3.4 Adquisición de la lombriz roja californiana.

Las lombrices rojas californianas se obtuvieron de un criadero de lombrices que se encuentra en el ITSM, de las cuales se adquirirá 1 kg de ellas para ser repartidas entre las cuatro camas de vermicompostaje, incluyendo lombrices pequeñas, jóvenes y adultas. Cada lombriz fue pesada y contabilizada, además durante este

proceso se monitoreo su temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica para que pudieran sobrevivir.

### 3.4.1 Promedio en peso de las lombrices de las cuatro camas de vermicompostaje.

En la tabla 3.1 se muestra el promedio en peso de las lombrices incorporadas al inicio el proceso lo cual están clasificadas en pequeñas, jóvenes y adultas.

Tabla 3.1 Promedio en peso de las lombrices al inicio del proceso.

	<b>Pequeñas (gr)</b>	<b>Jóvenes (gr)</b>	<b>Adultas (gr)</b>
<b>Cama 1</b>	11.6393 gr	20.9726 gr	17.1501 gr
<b>Cama 2</b>	19.4414 gr	15.2943 gr	10.9337 gr
<b>Cama 3</b>	13.0483 gr	17.0509 gr	15.6904 gr
<b>Cama 4</b>	14.0389 gr	18.5672 gr	15.6704 gr

Fuente. Elaboración propia.

### 3.5 Vermicompostaje.

Después del pre-composteo se llega a esta etapa en donde se vertieron las lombrices y se monitoreo todo el proceso. Esta etapa se denomina vermicompostaje al momento de que existe presencia de lombrices. A este punto ya se fermentó la materia orgánica para añadirle las lombrices y también contar con las condiciones adecuadas para introducirlas a las camas. Aquí se tuvo un control principalmente en la primera semana para la evaluación de la temperatura, humedad y aireación correspondiente para que de esta manera puedan aceptar el sustrato y acostumbrarse a él.

### 3.6 Relación C/N necesario para las lombrices.

La relación C/N es uno de los indicadores a tomar en cuenta porque el proceso microbiano es muy importante, el carbono da energía a los distintos microorganismos y en cuanto al nitrógeno este se presenta como el componente principal para la síntesis proteica, una buena relación C/N da un correcto crecimiento y reproducción (Chocano y Veliz, 2019).

En algunos proyectos la relación C/N ha sido considerada, como un factor clave en cuanto a crecimiento de la población de lombrices y la recuperación en términos de nutrientes (nitrógeno y fósforo), demostrando que sustratos con relación 25/1, son óptimos, es por ello que se debe alcanzar una relación C/N adecuada (Ndegwa, & Thompson, 2000).

De acuerdo al manual de compostaje del agricultor de la FAO y teniendo en cuenta los residuos aportados por el sector informal se calculó una relación C/N para un mejor desarrollo de este, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Q1x (C1x (100 - M1) + Q2(C2x (100 - M2) + Q3(C3x (100 - m3) + ...}{Q1x (N1x (100 - M1) + Q2(N2x (100 - M2) + Q3(N3x (100 - m3) + ...}$$

En la tabla 3.2 se muestran la relación C/N de los materiales que serán utilizados para el compostaje.

Tabla 3.2 Relación C/N de los materiales utilizados en el vermicompostaje.

Material	C/N
Purines frescos	5
Hojas de frijol	27:1
Hojas de árbol	47:1

Fuente: Adaptado de PNUD-INFAT (2002).

### **3.7 Monitoreo de las propiedades físicas y químicas durante el proceso de vermicompostaje.**

En este apartado se llevó a cabo el monitoreo de los siguientes parámetros. Este proceso se llevó a cabo cada semana durante 3 meses.

#### **3.7.1 Humedad**

Para determinar el porcentaje de humedad utilizamos un método llamado capacidad de campo (Fig. 3.10) para ello se pesaron 100 g de compost secada al aire. Posteriormente el suelo se introdujo poco a poco en una probeta de 100 ml, para ello le añadió con una cuchara dando golpes para que se compactara perfectamente y quedara uniforme en la probeta y no quedaran espacios sin rellenar, se anotó el volumen que ocupa la muestra en la probeta  $V_1$  después se le añadió un volumen  $V$  de agua destilada en el centro de la probeta que no sobrepase la capacidad de campo del compost. Se tapó para evitar evaporización y dejamos reposar por 24 horas. Transcurridas las 24 horas el agua habrá drenado libremente, dejando en condiciones de capacidad de campo la zona superior de la columna del compost.

Se midió el volumen del suelo seco  $V_2$  y la diferencia ( $V_1 - V_2$ ) fue la zona de la columna en condiciones de capacidad de campo.

Con la siguiente formula se calculó el porcentaje de la humedad volumétrica a capacidad de campo:

$$\%H = \frac{V}{V_1 - V_2} \times 100$$



Figura 3.10 Humedad por capacidad de campo.

### 3.7.2 pH

El monitoreo del pH en el proceso de vermicompostaje se tomó todos los días con ayuda de un multiparamétrico de la marca AMTAST y se tomó directamente de las camas de vermicompostaje (Fig. 3.11).



Figura 3.11 Obtención de pH con multiparamétrico marca AMSTAST.

### 3.7.3 Temperatura

La temperatura se tomó cada semana, durante 2 meses, lo cual se hizo con ayuda de un multiparamétrico de la marca AMTAST, esta fue tomada directamente de las camas de vermicompostaje (Fig. 3.12).



Figura 3.12 Obtención de temperatura con un multiparamétrico marca AMSTAST.

### 3.7.4 Aireación

El método más eficaz para aireación fue el volteo periódico del material. En este proceso se tuvo un control especial, cuidando que las capas exteriores no pasaran a ocupar el interior de la unidad siguiente, y para ello este proceso se realizó de manera manual. La frecuencia de la aireación o número total de vueltas del material en transformación, depende principalmente del contenido de humedad y del tipo de material.

### 3.7.5 Densidad de población

Para determinar la densidad de población de lombrices se reguló automáticamente en función del alimento disponible y del espacio.

### 3.7.6 Conductividad eléctrica.

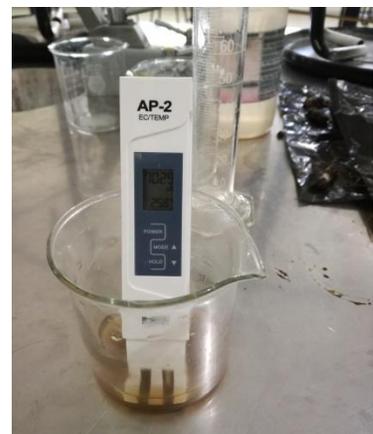
Para determinar la conductividad eléctrica se tomó una muestra de cada una de los tratamientos, posteriormente se pesaron 100 gr de cada muestra, se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml y se le agregó agua destilada, enseguida se colocó en un agitador (Fig. 3.13). Después de esto fue necesario llevar a cabo la extracción de suelo mediante la técnica de filtración al vacío (Fig. 3.14) hasta obtener al menos 20 ml de extracto, finalmente con la ayuda de un conductímetro marca HM DIGITAL se tomó la medida de cada muestra (Fig. 3.15).



Figura 3.13 Agitación de la muestra.



Figura 3.14 Filtración de la muestra.



3.15 Medición de CE.

### 3.8 Evaluación del Humus.

Al terminar el proceso de vermicompostaje a lo largo de tres meses se hicieron las pruebas fisicoquímicas del producto obtenido llamado humus de lombriz.

#### 3.8.1 Determinación de pH

Para poder tomar el pH fue necesario considerar las cuatro muestras de las camas de vermicompostaje. De las camas se tomaron 10 gramos de muestra y posteriormente se le adicionaron 50 ml de agua destilada, se agito y se dejó reposar por 20 minutos en un agitador mecánico. Una vez transcurrido el tiempo se calibró con solución buffer de pH 7 y al final se tomaron las lecturas en el potenciómetro (CONDUCTRONIC PH 120) (Fig. 3.16).



Figura 3.16 Medición de pH.

#### 3.8.2 Conductividad Eléctrica.

A la misma mezcla del humus de lombriz utilizada para la determinación del pH se introdujo el conductímetro en la suspensión para obtener la conductividad eléctrica (Fig. 3.17).



Figura 3.17 Medición de CE en humus.

### 3.8.3 Humedad

Se tomaron 10 gr de humus de lombriz y se vertieron en recipientes pequeños de porcelana (Fig. 3.18), con la muestra previamente tarada para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente. Posteriormente, se metieron al horno de secado a una temperatura de 105 °C por 24 horas, transcurrido el tiempo se determinó el peso del recipiente con la muestra seca.

Los cálculos se realizaron mediante la siguiente formula:

$$w = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$



3.18 Preparación de muestras para humedad.

### 3.8.4 Materia Orgánica.

Para determinar el contenido de materia orgánica se hizo a través del método AS-07 de Walked y Black. Se pesaron 0.5 g de humus y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se procesó un blanco con reactivos por triplicado, después se le adicionaron 10 ml de solución de dicromato de potasio 1N girando el matraz cuidadosamente para que entrará en contacto con todo el humus, posteriormente con ayuda de una pipeta 20 ml de ácido sulfúrico concentrado a la suspensión, se giró el Matraz y se agito durante 1 minuto, se dejó reposar 30 minutos sobre una superficie plana y transcurrido el tiempo se le añadieron 200 ml de agua destilada, después se le agregaron 5 ml de Ácido fosfórico concentrado y aproximadamente 5 gotas de indicador de Difenilamina. Finalmente, se tituló con ayuda de un soporte y una bureta con una disolución de sulfato ferroso a 1.0 M gota agota hasta alcanzar un tono verde claro (Fig. 3.19).

Los cálculos se hicieron mediante la siguiente formula:

$$\%M.O = (\%C.O)(1.724)$$



Figura 3.19 Muestras después de la titulación.

### **3.8.5 Carbono orgánico.**

El carbono orgánico se obtuvo implementando la siguiente fórmula:

$$\%C.O = \frac{(B-T)}{g} (N)(0.39)(mcf)$$

### **3.9 Evaluación de lixiviado.**

Al terminar el proceso de vermicompostaje a lo largo de tres meses se hicieron las pruebas fisicoquímicas del producto obtenido llamado lixiviado de lombriz.

#### **3.9.1 Determinación de pH.**

Se consideraron 10 ml de lixiviado por cada cama de vermicompostaje, se calibró la muestra con una solución Buffer de pH 7 y posteriormente se hicieron las lecturas en un potenciómetro (CONDUCTRONIC PH 120).

#### **3.9.2 Conductividad eléctrica.**

Para obtener la conductividad eléctrica se tomaron 50 ml de lixiviado y se vertieron en un vaso de precipitado y posteriormente se hicieron las lecturas mediante un conductímetro marca Hanna (Hi 98312) como se muestra en las siguientes figuras:



Figura 3.20 Lixiviado de los diferentes tratamientos.



Figura 3.21 Medición de CE en lixiviado.

### 3.9.3 Coliformes.

**Para la preparación de la muestra:** Se prepararon 4 soluciones diluyentes con peptona al 0.1% y posteriormente se esterilizaron, después se hicieron las diluciones 1:10 de la muestra añadiendo 1 ml de esta y para un óptimo crecimiento y recuperación de los microorganismos se ajustó a un pH entre 6.6 y 7.2 de la muestra diluida.

**Para la inoculación:** Se colocó la placa petrifilm en una superficie plana y nivelada, se levantó la lámina semitransparente superior y en forma perpendicular a la placa se vertió con ayuda de una pipeta 1 ml de dilución en el centro de la película cuadrículada inferior, posteriormente con ayuda de un dispersor se presionó suavemente para distribuir la muestra (Fig. 3.22), se dejó reposar durante 1 minuto para solidificar el gel y se incubó en una incubadora redLINE modelo RI 53-UL a una temperatura de 30 °C por 48 horas y finalmente se hizo el conteo de colonias.



Figura 3.22 Coliformes totales en placas petrifilm.

#### 3.9.4 Sólidos sedimentables.

Para la determinación de sólidos sedimentables se hizo bajo la Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013. En primer lugar, se colectó un volumen de muestra homogéneo y representativo (1 L). La muestra se mezcló a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos. Posteriormente, se colocaron en un cono IMHOFF hasta la marca de 1 L (Fig. 3.23), se dejó sedimentar por 45 minutos, una vez transcurrido el tiempo se desprendieron los sólidos adheridos a las paredes del cono con ayuda de un agitador, se dejó reposar por 15 minutos más y finalmente se registró el volumen de sólidos sedimentables en ml/L.



Figura 3.23 Sólidos sedimentables en conos IMHOFF.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

### 4.1 Clasificación y cuantificación los residuos biodegradables generados en el sector informal de Misantla.

Esta clasificación y cuantificación se comenzó a partir del día 5 de marzo, 3 días a la semana, y así sucesivamente durante 3 semanas. Dentro de los residuos verdes que se generan en el sector informal encontramos lechuga, quelites, cilantro, calabaza y erizo, mientras que dentro de los residuos secos encontramos las hojas de frijol y hojas secas de árbol.

En la tabla 4.1 se muestra el resultado en peso de los residuos recolectados durante estas 3 semanas, esto para tener una noción de la cantidad de residuos que se generan en el sector informal de Misantla, Veracruz. Como se puede observar los residuos verdes son los que más se generan en comparación con los residuos secos, generando un total de 24.084 kg durante las 3 semanas evaluadas.

Tabla 4.1 Generación de residuos verdes y secos.

<b>Semanas</b>	<b>Días</b>	<b>Residuos verdes (Kg)</b>	<b>Residuos secos (kg)</b>
Semana 1 (primer puesto).	Día 1	1.091 Kg	0.393 Kg
	Día 2	0.231 Kg	0.526 Kg
	Día 3	2.151 Kg	0.221 Kg
	<b>Total</b>	<b>3.473 Kg</b>	<b>1.14 Kg</b>
Semana 2 (segundo y tercer puesto).	Día 1	3.560 Kg	0.294 Kg
	Día 2	3.956 Kg	*****
	Día 3	2.750 Kg	*****
	<b>Total</b>	<b>10.266 Kg</b>	<b>0.294 Kg</b>
Semana 3 (último puesto).	Día 1	1.375 Kg	0.245 Kg
	Día 2	4.450 Kg	0.157 Kg
	Día 3	4.520 Kg	0.314 Kg
	<b>Total</b>	<b>10.345 Kg</b>	<b>0.716 Kg</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>24.084 Kg</b>	<b>2.15 Kg</b>

Fuente: Elaboración propia.

Mejía (2019) menciona que se debe tener en cuenta que, si los materiales no son apropiados, las lombrices pueden parar el proceso. El carbono y el nitrógeno son ingredientes básicos, su disposición es fundamental para la rapidez del proceso. Los residuos como restos de vegetación verde tienen la característica de tener alto contenido en N y la vegetación seca contiene grandes cantidades de carbono (Luna, 2011).

Por otro lado, Van-Camp *et al.*, (2004) menciona que la mayor producción de residuos agrícolas corresponde a los residuos cerealistas dentro de los cuales recaen los residuos secos contabilizados en esta investigación, este tipo de residuos poseen baja humedad que se encuentra en un rango de 10-15%, contiene alto contenido en celulosa de 30-50% y alrededor del 10% de lignina además de que presenta una relación C/N muy elevada entre 80-100.

Cuando los sustratos para realizar composta son solo residuos verdes pueden no cumplir todos los requerimientos para poder obtener un buen abono, es por ello que se debe tener un equilibrio de la cantidad de carbono y nitrógeno que se proporciona a las camas de compostaje (López 2004).

#### **4.2 Construcción del sistema de vermicompostaje.**

La siguiente figura (Fig. 4.1) muestra el resultado de la construcción de camas de vermicompostaje que se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Donde, siguiendo la gestión a través de la filosofía de las 3R (reducir, reusar y reciclar) se buscó contribuir (Jaramillo y Zapata; 2008).



Figura 4.1 Construcción de cama de vermicompostaje.

Este sistema construido con rejillas y material polietileno se considera un sistema abierto porque permite estar en contacto con las condiciones ambientales. En función del manejo del sistema (espacio, tecnificación, tiempo de retención), existe una amplia variedad de formación de pilas, variando así el volumen de estas, su forma, la disposición y el espacio entre ellas (FAO 2003).

Se optó por este sistema ya que es económico y sencillo construir, además de que son materiales que no influyen negativamente en el desarrollo del vermicompostaje.

#### **4.3 Determinación de pH evaluada durante el proceso de vermicompostaje.**

En la siguiente figura (Fig. 4.2) podemos observar los valores que representan el pH durante 2 meses en donde fueron evaluadas las 4 capas de vermicompostaje.

Cabe mencionar que, el pH registrado se encontró en un rango de 6.5-7, estos valores son favorables en el proceso de vermicompostaje ya que el pH es un factor que limita la supervivencia de ciertas familias de microorganismos durante el proceso de compostaje, puesto que establece la solubilidad y disponibilidad de nutrientes (Tituaña, 2009).

De acuerdo a lo anterior, la lombriz acepta sustratos con pH entre 6,5 y 8,4 fuera de estos rangos entra en un periodo de letargo. Con pH ácido se desarrolla la plaga conocida como planaria (Shweta *et al.*, 2005).

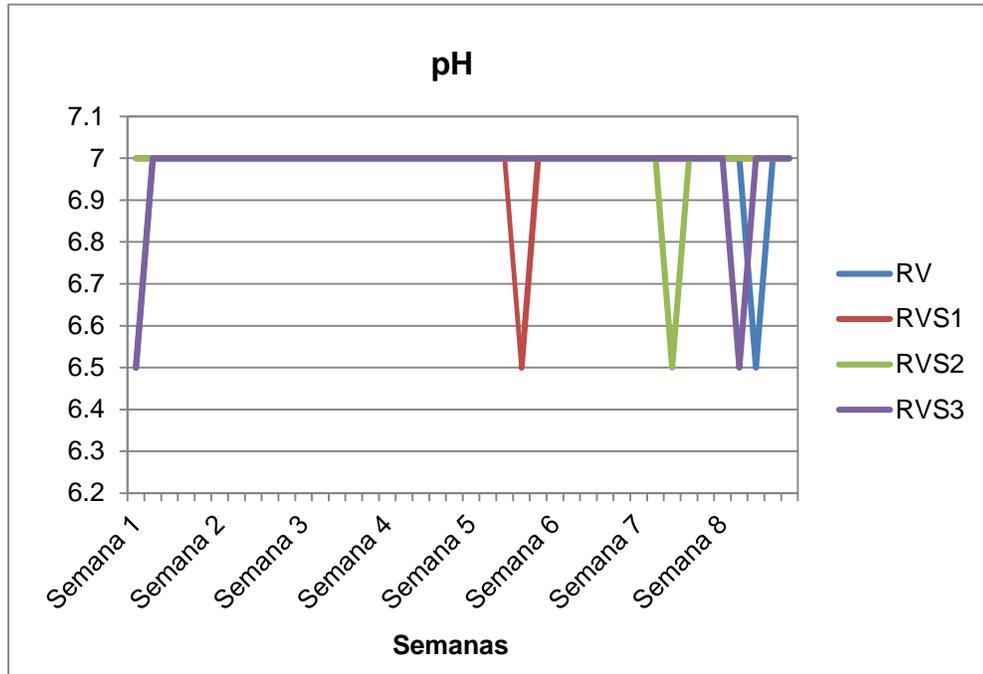


Figura 4.2 Determinación de pH durante el proceso.

#### 4.4 Determinación de temperatura evaluada durante el proceso de vermicompostaje.

Por otro lado, en la siguiente figura (Fig. 4.3) la temperatura oscila entre los 27 a 31°C por lo que se encuentra dentro del rango estable en el cual se desarrollan perfectamente las lombrices, algunos autores que han investigado sobre este tema nos dicen que la temperatura precisa para el desarrollo de las lombrices oscila en un rango de 17 a 33 °C (Giraldo, 2007).

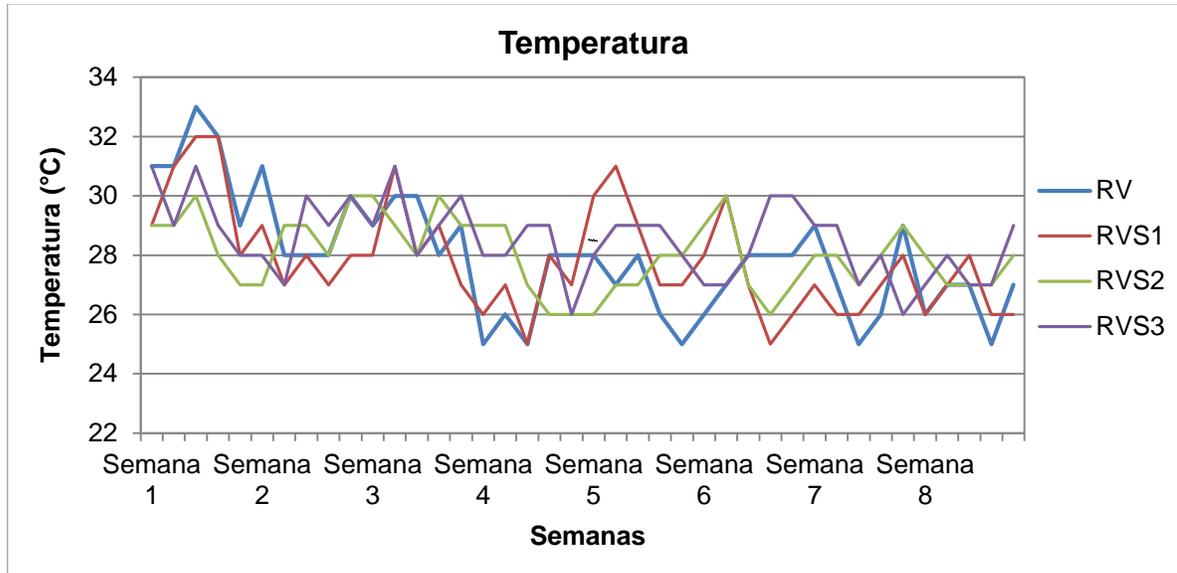


Figura 4.3 Determinación de temperatura durante el proceso.

#### 4.5 Determinación de Conductividad eléctrica (CE) evaluada durante el proceso de vermicompostaje.

En la siguiente figura (Fig. 4.4) se muestra los valores de conductividad eléctrica en el proceso de vermicompostaje. La dinámica de esta variable se muestra para cada cama una vez por semana durante 2 meses. Cabe mencionar que, en la primera semana de toma de CE en la cama 2 y 3 mostro un rango muy alto de esta variable que no va de acuerdo en base a la Norma Mexicana NMX109-SCFI-2008 que especifica la calidad del humus de lombriz, sin embargo, en las siguientes semanas evaluadas de CE, la composta estuvo en un rango menor lo cual va de acuerdo a lo citado en la norma con un valor menor o igual a 4 dS/m, esto quiere decir que cuando se encuentra en este valor la lombriz puede tolerar la cantidad de sales en la composta. Estos valores coinciden con los datos reportados de Laines-Canepa *et al.*, (2017) al inicio del proceso de compostaje, por lo que está dentro de los valores permisibles dentro del proceso de producción de vermicompostaje.

Las investigaciones de Ayyobi *et al.*, (2014) nos dicen que cuando la aplicación de vermicompostaje es continuada en el tiempo, la CE en el suelo puede aumentar debido a que la mayoría de estas enmiendas presentan altos valores de salinidad.

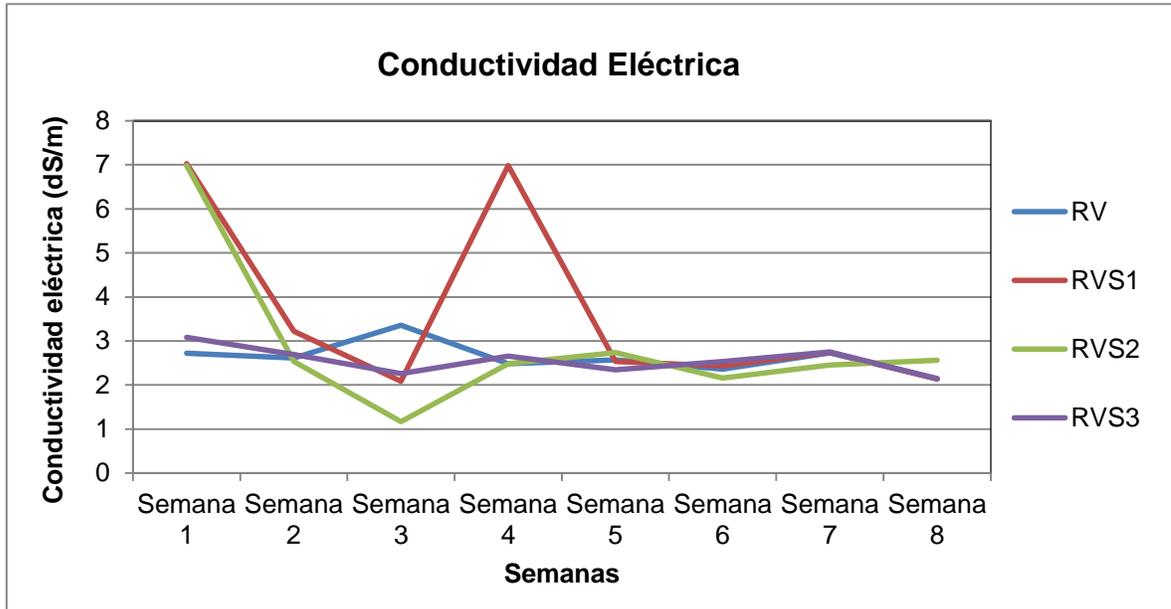


Figura 4.4 Determinación de conductividad eléctrica durante el proceso.

#### 4.6 Determinación de humedad evaluada durante el proceso de vermicompostaje.

Se realizaron 4 pruebas de humedad mediante la técnica de capacidad de campo, en la siguiente figura (Fig. 4.5) se muestran los resultados obtenidos del comportamiento de humedad que tuvo el vermicompostaje. El tratamiento en RV como podemos observar tuvo el nivel más alto de humedad de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2007, el cual define los límites permisibles para mantener el nivel de humedad, en RVS1 el porcentaje se encuentra en un 33% lo cual se encuentra en el rango permisible, por otro lado, el tratamiento RV3 y último se mantuvo en un 31% de humedad lo cual es estable de acuerdo a la norma.

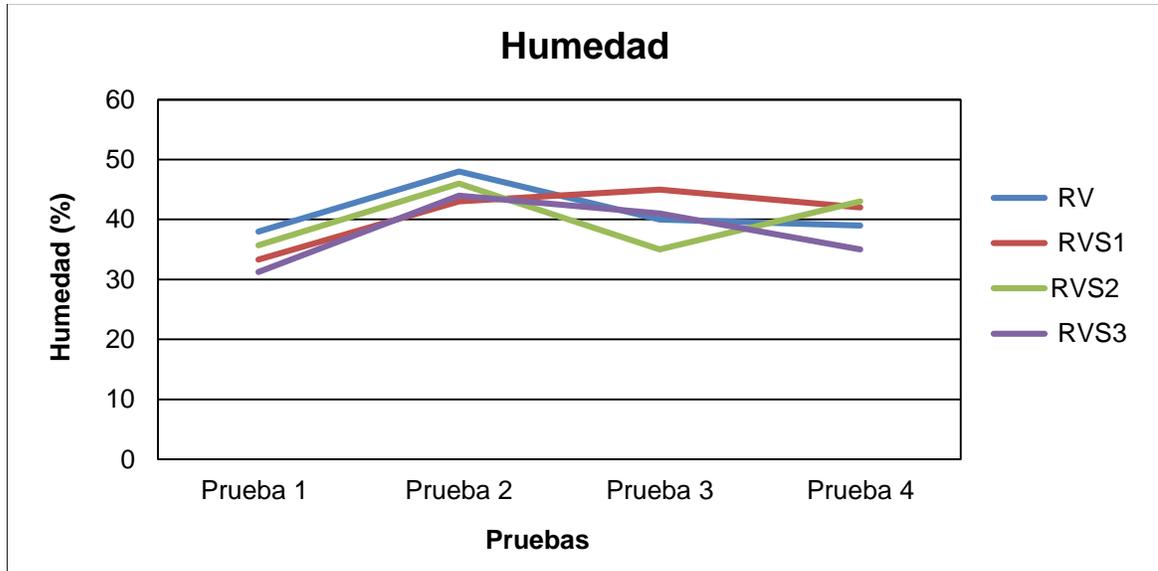


Figura 4.5 Determinación de humedad durante el proceso.

De acuerdo a Rodríguez (2004) menciona que la humedad es un factor importante para que los microorganismos puedan sobrevivir, si existe exceso de humedad el proceso no se lleva a cabo y si el nivel de humedad es bajo no hay producción de estos microorganismos.

Márquez *et al.*, (2003) y Silva *et al.*, (2012) mencionan a que, en dado caso si la humedad rebasa el 70%, el sistema de descontrolara y como consecuencia se presentaran microorganismos como larvas, hongos mesolíticos, bacterias y algunos insectos durante la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.

Paco, Murguia, Mamani, & Humberto (2011) señalan que la humedad del vermicompost no debe pasar de 40% a 55%; esto quiere decir que los tratamientos evaluados en este proyecto se encuentran dentro los valores óptimos.

#### 4.7 Relación C/N en los distintos tratamientos.

La relación C/N se generó durante 6 semanas siempre que agregamos alimento a las camas una vez a la semana, el comportamiento que se obtuvo durante las 6 semanas evaluadas fue de una relación C/N menor 20 lo cual cumple con lo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2007 para esta característica (Fig. 4.6) y según algunos autores una relación C/N >15 también indica un vermicompost estable y maduro (Castillo *et al.*, 2010; Acosta *et al.*, 2004).

Biológicamente, aumenta la descomposición de materia orgánica al incrementar la actividad microbiana natural promoviendo el crecimiento de bacterias aeróbicas descomponedores que la degradan (Sinha *et al.*, 2010). Esta es una estimación directa de las fracciones biológicamente degradables de C y N en los sustratos orgánicos (Defrieri *et al.*, 2005), a la vez que es un índice de la celeridad de descomposición del sustrato y la posterior mineralización de sus componentes (De La Cruz *et al.*, 2010).

Por otra parte, cabe mencionar que la proporción más elevada de purines que se agregaron no sobrepaso los 500 gr y de hojas de frijol con hojas de árbol fueron alrededor de 50 gr cada vez que se agregaban a las camas.

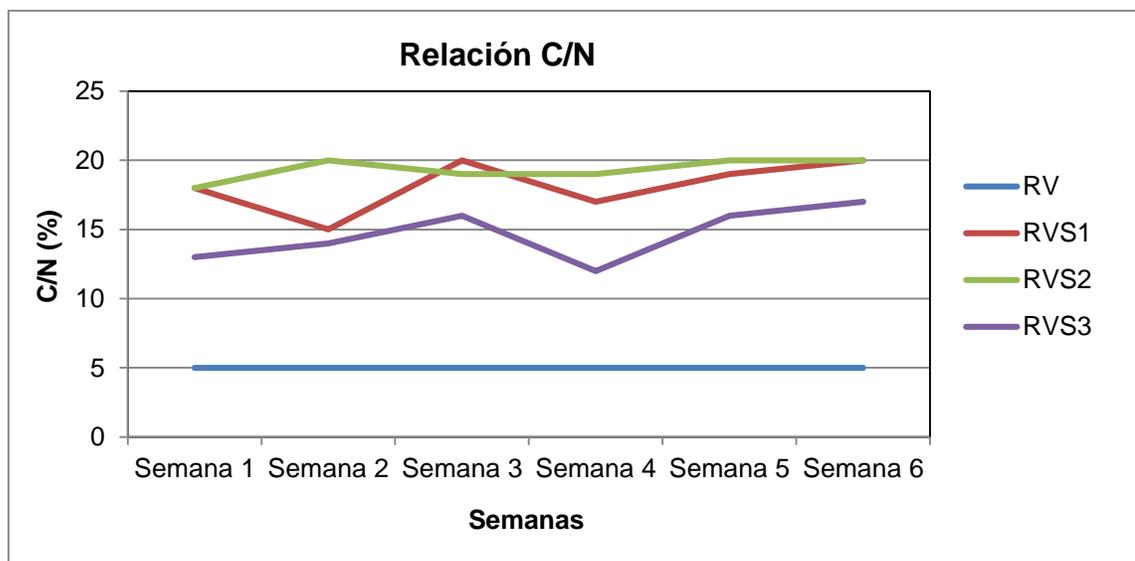


Figura 4.6 Relación C/N en los distintos tratamientos.

## 4.8 Parámetros evaluados para el humus de lombriz.

### 4.8.1 pH.

El pH del humus se encontró en un rango de 7.6 a 7.9 lo cual está dentro del rango permisible de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2007 que marca un rango de 5.5 a 8.5 de pH.

De acuerdo a Ancasi, P., & Avelino, E. (2018), la neutralidad es una condición adecuada para la asimilación de los nutrientes y para el desarrollo de las plantas. Para Vitorino. B. (2010) el humus regula el pH debido a su poder de tampón y evita los cambios de pH.

Los datos registrados para cada variable se sometieron al análisis de varianza y a la comparación múltiple de medias con la prueba DMS del paquete estadístico de la UANL. En la tabla 4.2 se muestran los datos obtenidos del análisis de varianza y de las pruebas de comparación de medias y se determinó que en el pH del humus no existe significancia, es decir, entre los diferentes tratamientos no hay diferencia, ya que se observa se encuentran cercano a la neutralidad, el tratamiento RVS1 en este caso fue el mejor en cuanto a pH, seguido de RVS3 que estuvo cercano a RVS2 y por último RV en un nivel bajo.

Tabla 4.2 Prueba de medias de pH en humus.

Tratamiento	Media	Sig=0.05
RVS1	7.500	a
RVS3	7.433	a
RVS2	7.400	a
RV	7.300	a

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados coinciden con lo evaluado por otros autores como Castillo, A. E., Quarín, S. H., & Iglesias, M. C. (2000), lo cual para la elaboración de su vermicompostaje utilizaron residuos de cocina como lo son las hortalizas crudas y que presentó niveles de pH de 7.12, dichas diferencias oscilan entre el 6 y 7%, quedando todos los tratamientos cercanos al rango de neutralidad. Otro estudio encontrado que se realizó con la misma técnica usada en este trabajo utilizando suelo seco con capas de residuos orgánicos verdes y secos en sus análisis mostro que su tratamiento con 100% de residuos orgánicos con suelo seco fue el mejor humus obtenido con un pH de 7.5 dejando atrás a los de menor cantidad de sustratos (Santos, 2017).

#### **4.8.2 Conductividad Eléctrica.**

La conductividad eléctrica en el humus de lombriz de los tratamientos estudiados se encontró en un rango de 1.07- 1.13 dS/m lo cual este dato nos dice que el humus se encuentra en un nivel de sales bajo y dentro del rango permisible que es  $\leq 4$  dS/m de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2007.

De acuerdo a una evaluación que se le hizo a distintos abonos orgánicos elaborado por Torres *et al.*, (2016) el vermicompost con una conductividad eléctrica de 0.19 dS/m se encuentra en menores riesgos de salinización, algunos autores mencionan que las propiedades químicas como la CE del vermicompost pueden variar mucho entre sí, y esto se debe a los tipos de desecho utilizados, las proporciones de cada uno, el estado de descomposición de estos materiales, las condiciones en las cuales se lleva el proceso de vermicompostaje y las condiciones de almacenamiento.

Algunos autores como Wang *et al.*, (2010) y Mamani *et al.*, (2011) mencionan que los abonos luego del compostaje incrementan considerablemente su CE, llegando a más de 20 Ds m<sup>-1</sup>, por lo que su incorporación continua en áreas bajo cultivo y podría eventualmente evolucionar a suelos salinos afectando el desarrollo de las plantas.

En la tabla 4.3 se muestran los datos obtenidos del análisis de varianza y de las pruebas de comparación de medias y se determinó que existe diferencia significativa en los resultados obtenidos, la siguiente tabla obtenida de la prueba DMS nos indica que tratamiento fue el más efectivo, por lo cual podemos decir que RVS2 fue el mejor, seguido de RVS1, el tratamiento RVS3 y RV fueron los más bajos.

Tabla 4.3 Prueba de medias de CE en humus.

Tratamiento	Media (dS/m)	Sig=0.05
RVS2	0.512	a
RVS1	0.454	b
RVS3	0.379	c
RV	0.360	c

Fuente: Elaboración propia.

La reducción de sales puede justificarse por las proporciones del vermicompostaje en la mezcla de los sustratos, ya que al haber proporciones bajas de estas bajan proporcionalmente algunos nutrientes, materia orgánica y la conductividad eléctrica, tal como lo menciona (Miranda, 2004).

Los resultados muestran que la totalidad de los tratamientos registra valores de conductividad eléctrica muy por debajo de 4 dS/m, valor que se indica como el máximo permitido en sustratos para la utilización en producción de plantas (INN, 2004). Es decir, las mezclas de sustratos utilizadas en este proyecto se encuentran lejos de presentar problemas relacionados con un exceso de sales, lo cual implicaría en casos extremos: reducción del crecimiento, marchitez y quemadura apical de hojas (Martínez, 2005).

Un estudio realizado por Santos (2017) en donde tuvieron resultados de varios tipos de humus obtenidos con estiércol de diferente origen, mostraron valores altos en su humus especialmente uno de los tratamientos que se hizo con residuos orgánicos

y suelo seco, dicho estudio obtuvo un valor de 4.42 dS/m lo cual es alto en salinidad respecto a la NMX-FF-109-SCFI-(2008).

#### 4.8.3 Humedad.

El porcentaje de humedad de humus de lombriz sobre materia húmeda se encuentra en un rango de 42-48%. Un estudio realizado por Suclupe (2018) mostró el análisis de humus de lombriz, lo cual obtuvo una humedad del 40%. En base a otros estudios como el realizado por Huata (2018) los niveles óptimos para el humus se encuentran en un rango de 40 a 60% de humedad.

En el caso de la humedad se determinó que existe diferencia significativa entre los datos obtenidos, como lo muestra la tabla 4.4. Asimismo, se determinó que, en la prueba DMS el tratamiento RV es el mejor en cuanto a humedad, seguido del tratamiento RVS2 finalmente los valores más bajos de humedad los presentaron RVS1 y RVS3.

Tabla 4.4 Prueba de medias de humedad en humus.

Tratamiento	Media (dS/m)	Sig=0.05
RV	44.667	a
RVS2	41.233	b
RVS1	40.443	c
RVS3	40.417	c

Fuente: Elaboración propia.

El estudio de Durán, L., & Henríquez, C. (2007) mostro un resultado del 27% de humedad, humus realizado con materiales domésticos, diferencia casi del doble en comparación a este estudio.

#### 4.8.4 Materia Orgánica.

En la siguiente figura (Fig. 4.10) se muestra el contenido de materia orgánica lo cual se encuentra en un rango de 9.7 a 10.9% MS. Por lo dicho anteriormente, este resultado obtenido se encuentra bajo la norma NADF-020-AMBT-2011, lo cual establece que la materia orgánica debe encontrarse en > 20% MS.

La materia orgánica del vermicompost aporta nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros) que la biomasa microbiana utiliza para su mantenimiento y reproducción. El incremento de la biomasa microbiana es importante porque favorece la mineralización de la materia orgánica, liberando nutrientes al suelo disponibles para el cultivo (Ingham, 2005; Pedra *et al.*, 2007; O'Rya y Riffo, 2007).

Otros estudios realizados como el de Vivas (2019) obtuvieron rangos de 4 a 10% de materia orgánica en distintos tratamientos de vermicompostaje.

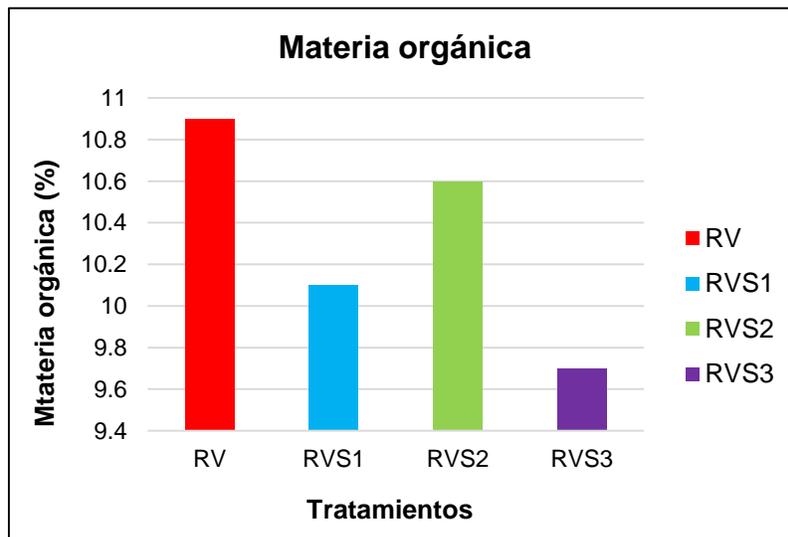


Figura 4.10 Determinación de materia orgánica en humus.

#### 4.8.5 Carbono orgánico.

En la siguiente figura (Fig.4.11) se muestran los resultados obtenidos del carbono orgánico contenido en el humus, lo cual se encuentra en un rango de 5.6- 6.3%. Cabe mencionar que, otros estudios realizados como el de Vivas (2019) presentan un porcentaje de carbono orgánico menor lo cual se encuentra en un rango de 0.5- 4.2%, por lo que los resultados obtenidos son favorables en comparación a otros trabajos donde se han empleado residuos orgánicos similares a los utilizados en esta investigación.

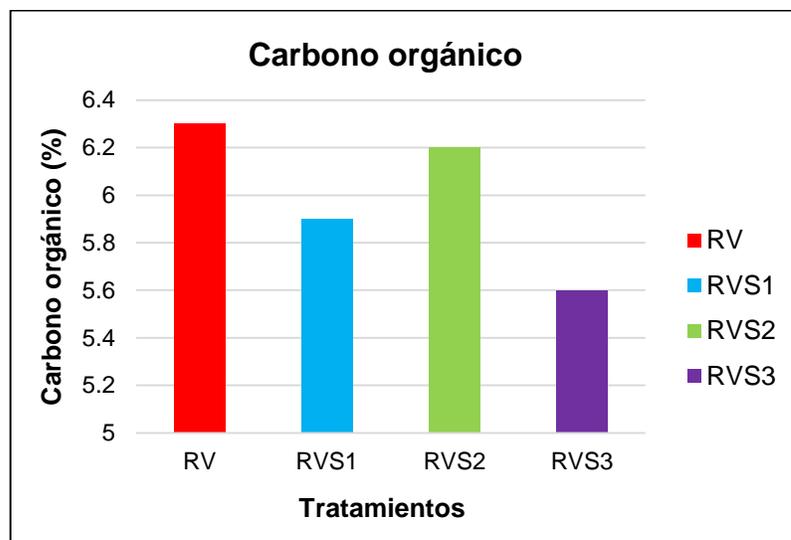


Figura 4.11 Determinación de Carbono orgánico en humus.

#### 4.9 Parámetros evaluados para el lixiviado de lombriz.

##### 4.9.1 pH.

El pH que obtuvo el lixiviado de vermicompost se encontró en un rango de 6.4 a 7.6 lo cual es cercano a neutro. De acuerdo a un estudio realizado por Laines-Canepa (2017) en donde obtienen las características fisicoquímicas de lixiviado a partir de residuos orgánicos, obtienen un pH de 7.5 cercano a la neutralidad, esto quiere decir que puede ser utilizado como fertilizante foliar para la producción de plantas.

Haciendo un análisis más detallado Gutiérrez-Miceli *et al.*, (2008) caracterizaron lixiviados de vermicompostaje y reportan un pH de 7.8.

Tabla 4.5 Prueba de pH en lixiviado.

Tratamiento	Media	Sig=0.05
RVS2	7.400	a
RV	7.367	a
RVS1	7.333	a
RVS3	7.167	a

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, se ha usado lixiviado de vermicompostaje que es un producto obtenido en las camas de vermicomposta y que se ha aplicado con éxito como abono y como controlador de plagas (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011).

En la tabla 4.5 se muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza y de las pruebas de comparación de medias, el cual nos dice que tratamiento fue el más efectivo en cuanto a esta variable, por lo tanto, se determinó que no existe diferencia significativa en los resultados obtenidos, por ende, todos los tratamientos presentaron pH similares y muy cercanos a la neutralidad.

Un estudio realizado por Maraña Santacruz, J. Á. (2018), trabajaron con lixiviado de lombriz y evaluaron su rendimiento en el crecimiento de chile jalapeño con dos métodos de riego, el pH de este lixiviado es de 7.35 lo cual es efectivo a la hora de cultivar. Entonces este estudio nos revela que su tratamiento de riego por goteo en profundidad de 30 cm presentó el pH más bajo en comparación con el riego superficial.

#### 4.9.2 Conductividad Eléctrica.

La conductividad eléctrica que tuvo el lixiviado obtenido del vermicompost fue bajo, en la prueba 1 y 2 fue de 0.92 y 2.5 dS/m. Como lo plantea Majlessi *et al.*, (2012) valores altos de CE podrían afectar procesos fisiológicos como, por ejemplo, la germinación de plantas. En este sentido, esta investigación recalca la importancia de conocer las características de los productos orgánicos que se aplican al suelo. Los lixiviados son un producto que aún no está totalmente estudiado (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011). De acuerdo con Ortega y Fernández (2007) es una suspensión alcalina que contiene ácidos húmicos y fúlvicos, lo que puede facilitar la adición de carbono al suelo a través del sistema de riego para aumentar la materia orgánica y los niveles de fertilidad del suelo.

Con lo que respecta a los resultados obtenidos en la prueba 2 los tratamientos tuvieron una conductividad eléctrica del rango 0.0012-0.0022 dS/m y en la prueba 3 el rango se encontró entre 0.0014-0.0022 dS/m lo cual es un nivel de sales muy bajo. Esto al relacionarlo con un tipo de lixiviado convencional este presenta valores muy superiores a los que reporta un lixiviado agroecológico, pero analizando los niveles del lixiviado convencional, si se parte de la situación práctica de una posible dilución, y sabiendo que un valor de 0,17 dS m<sup>-1</sup> que es el que presenta un lixiviado convencional no representa precisamente un problema, su dilución y aplicación con cierta precaución no representa un potencial salinizador del suelo al cual se aplica, pero aplicaciones habituales pueden llevar a una considerable adición de sales al suelo, lo cual en cierto periodo de tiempo traerá problemas en la disponibilidad de agua para las plantas, debido al efecto de retención de agua por los complejos salinos que se agregan al suelo cuando se aplican lixiviados (Granada, 2015).

Tabla 4.6 Prueba de medias de CE en lixiviado.

Tratamiento	Media (dS/m)	Sig=0.05
RVS1	0.895	a
RVS2	0.853	a
RVS3	0.836	a
RV	0.309	a

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.6 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza y de las pruebas de comparación de medias, el cual nos dice que tratamiento fue el más efectivo en cuanto a esta variable, por lo tanto, se determinó que no existe diferencia significativa en los resultados obtenidos, por ende, podemos decir que todos los tratamientos presentan valores similares de conductividad eléctrica y que a su vez son valores aceptados para su uso en la agricultura.

Maraña (2018) realizó un estudio sobre el rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego, uno por goteo y el otro de manera superficial, evaluando la conductividad eléctrica no se encontró diferencia significativa en las subparcelas o tratamientos de fertilización dentro de este parámetro, ni tampoco en el factor riego, teniendo valores de 2.16-2.80 dS m<sup>-1</sup>.

#### **4.9.3 Sólidos Sedimentables.**

Los sólidos sedimentables fueron tomados de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013 tomando como referencia el volumen en ml/L en los diferentes tratamientos.

Un estudio realizado por Velastegui (2009) se encarga de producir compost, los cuales las composteras tienen una composición de estiércol de ganado, material de poda de plantas y césped, después de 6 muestras, el resultado global se encontró

en 1.25 mL/L dentro de límites permisibles de 20 mL/L por lo cual cumple con lo establecido.

En la tabla 4.7 nos muestra la prueba estadística lo cual nos dice que existe diferencia significativa entre las variables, el tratamiento RVS2 obtuvo el mayor porcentaje de sólidos sedimentables seguido de RVS1, RVS3 y RV.

Tabla 4.7 Prueba de medias de SS en lixiviado.

Tratamiento	Media (ml/L)	Sig=0.05
RVS2	3.667	a
RVS1	2.767	b
RVS3	1.333	c
RV	1.200	c

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9.4 Coliformes totales.

En las siguientes figuras se puede observar los resultados microbiológicos del lixiviado en los diferentes tratamientos, es decir la presencia de los coliformes totales al cabo de su incubación por 2 días en las placas Petrifilm. Dicho lo anterior en RV hubo un crecimiento de colonias significativo con un total de 105 colonias (Fig. 4.15) por otro lado en los tratamientos RVS1, RVS2, RVS3 la presencia de colonias no se hizo tan evidente, por lo que cabe mencionar que en RVS1 tuvo un total de 29 colonias (Fig. 4.16), RVS2 obtuvo 33 colonias (Fig. 4.17) y RVS3 generó 21 colonias (Fig. 4.18). De acuerdo a un estudio hecho por Corlay (2012) obtuvieron una cantidad de 240 NMP de coliformes en lixiviado de vermicompost lo cual es una cantidad mayor al resultado que obtuvimos en esta investigación.

Por otro lado, al comparar los resultados de la investigación con las especificaciones para coliformes totales presentadas en la Norma Mexicana (NMX FF-109-SCFI-2008) para humus de lombriz, si se toma que la densidad de los lixiviados de lombriz

es aproximadamente de 1.000 g/mL, podemos deducir que los resultados presentados en esta investigación están por debajo a los límites permisibles por lo que el lixiviado de lombriz cumple con la norma.

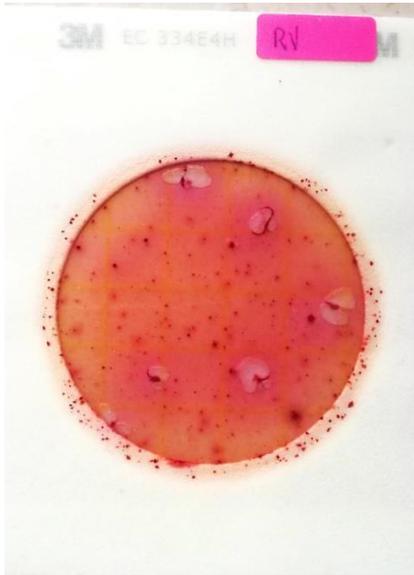


Figura 4.15 Colonias en RV.

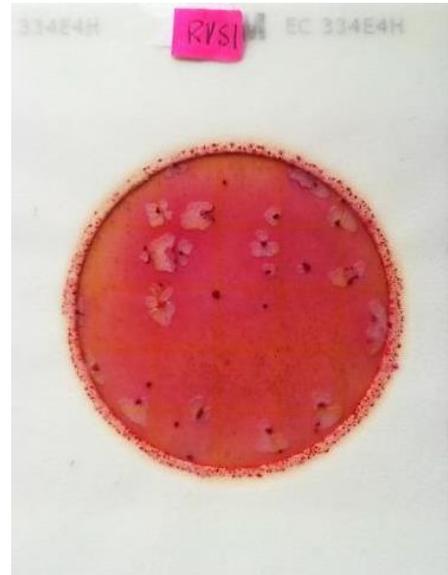


Figura 4.16 Colonias en RVS1.



Figura 4.17 Colonias en RVS2.

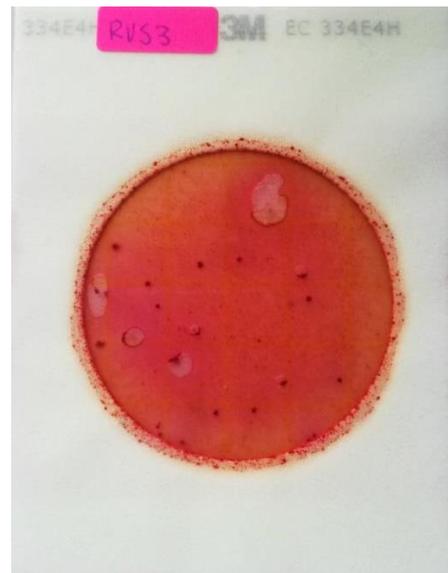


Figura 4.18 Colonias en RVS3.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

El vermicompostaje es una alternativa que ayuda a la problemática de exceso en el volumen de RSU, trae múltiples beneficios, el principal; evitar que estos residuos sean transportados a un basureros o rellenos sanitarios y causen contaminación al aire y suelo. Por otro lado, el abono que se obtiene es 100% natural, el humus acelera las raíces de las plantas, procesos de floración, brotación y maduración de los cultivos. La utilización de residuos secos y verdes es un acierto para llevar a cabo un vermicompostaje de calidad y así proporcionar un equilibrio de nutrientes.

El humus obtenido en su mayoría cumple los parámetros de acuerdo a la Norma Mexicana NMX109-SCFI-2008 como lo es en pH, materia orgánica y carbono orgánico, que de acuerdo al análisis estadístico no presento diferencias significativas. Sin embargo, en las pruebas de CE y Humedad nos reveló que existieron diferencias significativas.

En el análisis del lixiviado, el pH y conductividad eléctrica no tuvieron diferencias significativas en los diferentes tratamientos, mientras que en la evaluación de los SS existieron diferencias significativas.

La cantidad de lixiviado obtenida en este trabajo solo basto para hacer la evaluación de parámetros establecidos. Aunque no hubo mucha diferencia en los resultados obtenidos entre los tratamientos, todos presentarán valores favorables para su uso en cultivos agrícolas de acuerdo a la comparación con otros autores.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, S. G. (2004). Earthworms and vermicomposting. *Indian Journal of Biotechnology*, 9.
- Acosta, Y., Paolini, J., y Benítez, E. 2004. índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Rev. Fac. Agron. (UCV)*. 21(4),1-6.
- ADEX-Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior. (2002). Guía de Lombricultura. Lombricultura: una alternativa de producción para emprendedores y productores de agro. Eduardo Díaz (Ed.). La Rioja, España. 57p.
- Ancasi, P., & Avelino, E. (2018). Contribución de dolomita y humus de lombriz en la producción de repollo (*Brassica oleracea* L. variedad capitata) Centro Agronómico K'ayra–Cusco.
- Arenas, Macky. América Latina: Un continente forrado en basura [en línea]. Aleteia.org | español. 2 de marzo de 2018. [Fecha de consulta: 3 de octubre de 2018]. Disponible en <https://es.aleteia.org/2018/03/02/america-latina-uncontinente-forrado-en-basura/>.
- Arthur *et al.*, (2012). Vermicompost Leachate Alleviates Deficiency of Phosphorus and Potassium in Tomato Seedlings. *Hortscience*, 4.
- Avilés E. (2011). Determinación de la Efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de agua. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. p 27.
- Ayyobi, H., Hassanpour, E., Alaqemand, S., Fathi, J.A., and Peyvast, G. 2014. Vermicompost Leachate and Vermiwash Enhance French Dwarf Bean Yield. *Intl. J. Veg. Sci.*, 20(1), 21–27.
- Barbado (2003). José, Cría de Lombrices, Primera Edición, Editorial Albatros, Buenos Aires- Argentina.

- Benítez, E., Meglar, R., Sainz, H., Gómez, H., Nogales, R. (2000). Enzyme activities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum*, L.) grown with olive cake mulches. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1829-1835.
- Bernache, Gerardo (2011). Cuando la basura nos alcance. El impacto de la degradación ambiental México: CIESAS, 551, p.
- Bernache, G. (1 de junio de 2009). La basura sin rienda. Contra la basura: una nueva cultura ambiental. *La Jornada Ecológica*.
- Bravo castillo, r. f. (2021). sistema de monitoreo y evaluación para un biorreactor de vermicompostaje.
- Briceño Alemán, A. A., & Pérez Reyes, A. C. (2017). Utilización del humus Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café, finca Santa Dolores, Municipio el Crucero, enero junio 2016 Autores (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).
- Cálculos propios con base en INEGI (2012b) (Fecha de actualización 11 abril de 2013).
- Cálculos propios con base en SEMARNAT (2012).
- Corlay, L., & Hernández-Tapia, A. (2012). 12790-Calidad microbiológica de abonos orgánicos. *Cadernos de Agroecología*, 6(2).
- Castillo, J. d. (2013). Aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la Facultad de Planeación Urbana y Regional, UAEMex, mediante la técnica de vermicompostaje., (pág. 116). Toluca de Lerdo, Estado de México.
- Castillo, H., Hernández, A., Dominguez, D., and Ojeda, D. 2010. Effect of Californian red worm (*Eisenia foetida*) on the nutrient dynamics of a mixture of semicomposted materials. *Chil. J. Agr. Res.*, 70(3),465-473.
- Castillo, A. E., Quarín, S. H., & Iglesias, M. C. (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura técnica*, 60(1), 74-79.

- Castro, J. A. G., & Pérez, G. B. (2016). Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales. *Sociedad y ambiente*, 1(9), 73-10.
- Canchucaja Bonarriba, A. P. (2018). Efectos urbano-ambientales producidos por la gestión de residuos sólidos del mercado de abastos “La Hermelinda” en el distrito de Trujillo, 2017.
- Cerisola, C. 2015. Fertilidad Química. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. p 9.
- Chocano, D. y Veliz, C. (2019). Determinación del porcentaje de la unidad de compostaje que puede ser reemplazado por alperujo para la obtención de un biofertilizante en la localidad de Calientes – Tacna. Tacna.
- Claros, M. I. (2013). “Evaluación de humus producido por lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como fuente alterna de fertilización orgánica, en la disminución del daño ambiental”.
- Coronel M. 2001. "Manual de Lombricultura". Huancayo: UNCP. 50 p. Crespo, Raúl, Lidia Romero y Elena Gonzáles. (2012). «Producción de humus de lombriz en Cuba.
- Defrieri, R., Jiménez, M., Efron, D., y Palma, M. 2005. Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de composteo. *AgriScientia*, 22(1):25-31.
- Dueñas Garzón, L. F.; (2007). Lombricultura. Consultado el 14 de julio del 2012. Disponible en: [www.geocities.com/sanfdo/index.htm](http://www.geocities.com/sanfdo/index.htm).
- Durán, L., Henríquez, C. (2007) Caracterización Química, Física y Microbiológica De Vermicompostes Producidos a Partir de Cinco Sustratos.
- De La Cruz, E., Osorio, R., Martínez, E., Lozano, A., Gómez, A., y Sánchez, R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia.*, 35(5),363-368.
- Díaz E. (2002). Manual de Lombricultura para Emprendedores y Productores del Agro. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior ADEX. Municipio Capital de la Rioja Argentina. P 26. Recuperado el 14 de junio de 2016.

- Díaz, E. R., & Guzmán, M. (2004). Características de los fertilizantes para su uso en la fertirrigación. Medios, Agua y Fertilizantes.
- Díaz Cuenca, E., Alvarado Granados, A. R., & Pérez Ramírez, C. A. (2018). Estrategias en el manejo de residuos sólidos urbanos en el desarrollo local sostenible, estado de México.
- Dionicio Machari, G. A. (2008). Rendimiento del Ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) con dosis de Humus de Lombriz en el fundo Miraflores Banda de Shilcayo-San Martín-Perú.
- Dobermann, (2004) A. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crop Res*, vol. 74, p. 37-66.
- Domínguez, J., C. A. Edwards & J. Ashby, (2001). The biology and ecology of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (*Oligochaeta*) bred in cattle waste. *Pedobiologia*. 45: 341–353.
- Durán, Lolita; Henríquez, Carlos (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompost producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- Edwards, C. A. (1988). Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. Pp. 21–31. In: C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (Eds.). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB, The Hague.
- Filho, D. O. (2005). Avaliação do deslocamento de minhocas (*Eudrilus Eugeniae*) submetidas a pulsos elétricos controlados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.
- FAO 2003 “On-farm Composting Methods” FAO, Rome.
- FAO. Perspectivas para el medio ambiente Agricultura y medio ambiente.2015. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm>
- Gheisar, (2010) S., S. Danesh and S. M. Mousavi. Growth and Reproduction of *Eisenia fetida* in Vermicomposting of Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. *Asian Journal of Chemistry* 22(2) 1266-1274.
- González. Paco. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Marzo del 2019. Disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27>

- Granada Torres, C. A., & Prada Millán, Y. (2015). Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(2), 169-182.
- Gutiérrez-Miceli, F. A.; Oliva, M. A. L.; Mendoza, P. N.; Ruiz, B. S.; Álvarez, J. D. S. y Dendooven, L. (2011). Optimizacion of vermicomposta and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of plant Nutrition* 34:1642-1653.
- Gutiérrez-Miceli FA., García R., Rincón-Rosales R. (2008). Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource Technology*. Volume 99, Número 14, septiembre de 2008, pages 6174- 6180.
- Gutierrez-Miceli, F. A., Llaven, M. A. O., Nazar, P. M., Sesma, B. R., Alvarez-Solis, J. D., Dendooven, L. (2011). Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition*, 34(9-11), 1642-1653. doi: 10.1080/01904167.2011.592561.
- Hallat, L., A. J. Reinecke & S. A. Viljoen. 1990. The life cycle of the oriental compost worm *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *South African Journal of Zoology*. 25: 41–45.
- Hallatt, L., S. A. Viljoen & A. J. Reinecke (1992). Moisture requirements in the life cycle of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1333–1340.
- Huata Correa, J. E. (2018). Determinación de la relación cantidad de precompost utilizada como alimento de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y cantidad de humus de lombriz obtenido en el distrito provincia y región de huanuco octubre-diciembre de 2017.
- INN. Chile. 2004. Norma Chilena de Compost 2880-2004 (Nch 2880-2004), Compost Clasificación y Requisitos. 23p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2012). —Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011II (CNGMD). Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos.

- Izquierdo M. (2016). Proyecto de Factibilidad en la Producción de Humus de lombriz y Compost con microorganismos eficientes para el agro en la provincia de Santa Elena.
- Tesis de grado. Facultad de Ciencias y Tecnología. Escuela de Ingeniería Agropecuaria. Cuenca Ecuador.
- Jiménez Fraina; ESCALONA Argelia; ACEVEDO, Ingrid (2010). Compost de champiñonera y vermicompost como sustratos para el desarrollo de plántulas de pimentón. *Agronomía Tropical* 60(1): 85-90.
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.
- Kale, R. D., K. Bano & R. W. Krishnamoorthy (1982). Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. *Pedobiologia*. 23: 419–426.
- Laines-Canepa, J. R., & Hernández-Hernández, L. (2017). Evaluación del efecto de biofertilizantes y fertilizante químico sobre el crecimiento de uspi (*Couepia polyandra*) Y CARACOLILLO (*Ormosia macrocalix*). *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 1(1), 35-50.
- Layseca López, O. D. C. (2013). Evaluación de diferentes sustratos para la producción de lombricomposta de acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 (Doctoral dissertation).
- Legall Meléndez, J. R.; Discovski Rioboo, L. E; Valenzuela Castellón, Z. I. (2006). Manual básico de Lombricultura para condiciones tropicales. Escuela de agricultura y ganadería de Estelí “Francisco Luís Espinoza”. Nicaragua. [luisdi@ibw.com.ni](mailto:luisdi@ibw.com.ni)
- Limachi Mendoza (2018), E. Evaluar el efecto de tres dosis de sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con estiércol bovino y aserrín descompuesto en Sapecho Alto Beni (Doctoral dissertation).
- Loehr, R. C., E. F. Neuhauser & M. R. Malecki, (1985). Factors affecting the vermistabilization process: Temperature, moisture content and polyculture. *Water Research*. 19: 1311–1317.

- López M.S. (2004). Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora. Valsaín Ceneam/Mimam.1-20.
- Luna Mario. "Manual de vermicompostaje". [En Línea] (Revista) (Científica). "Grupo de Acción Para el Medio Ambiente". 2011.
- Marco Isaí Claros Hernández, I. e. (2013). "Evaluación de humus producido por lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como fuente alterna de fertilización orgánica, en la disminución del daño ambiental".
- Mamani, Gladys; MAMANI, Francisco; SAINZ, Humberto; VILCA, René (2011). Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *J. Selva Andina Res. Soc* 3 (1):44-54.
- Márquez, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2003). Factores que afectan al proceso de compostaje.
- Martínez-Viera, R., Dibut, B., & Yoania, R. (2010). Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 00-00.
- Martínez, X. 2005. Identificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos y su relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas. 20p In: Burés, S. y X. Martínez. Seminario internacional sobre sustratos para uso en agricultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 3 de Noviembre del 2005.
- Martínez, N. M. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 28.
- Matheus, J. (2004). Evaluación Agronómica del Uso de Compost de Residuos de la Industria Azucarera (Biofertilizantes) en el cultivo de Maíz (*Zea Mays* L.), *Revista Bioagro* 16 (3): 219-224.
- Majlessi, M., A. Eslami, H. Najafi, S. Mirshafieean y S. Babaii (2012). Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 9(25).

- Mejía Hidalgo, E. F., & Ramos Romero, S. S. (2019). Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la Empresa Pública Municipal mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausi y Guamote, mediante tratamientos biológicos. compostaje, co-compostaje, vermicompostaje y takakura (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Metzger, G. R. (2007). Physical and Chemical Characteristics of a Commercial Potting Substrate Amended with Vermicompost Produced from Two Different Manure Sources. *Hortecology*, 5.
- Miranda C., R., 2004. Introducción a la Geología Agrícola. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. p 68.
- Montes M. & Ruiz M. (2013). Manual para el Manejo de Instalaciones Lombrícolas. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria acuícola y Forestal del Estado de México ICAMEX. Administración Pública Estatal. Primera edición p 10.
- Moreno, R. A.; García, G. L.; Cano, R. P.; Martínez, C. V.; Márquez, H. C. y Rodríguez, D. N. 2014. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecos. Rec. Agrop.* 1(2):163-173.
- Ortega, R. y Fernández, M. (2007). Agronomic evaluation of liquid humus derived from earthworm humic substances. *Journal of Plant Nutrition* 30: 2091-2104.
- Paco, G., Murguía, L., Mamani, F., & Humberto, S. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la estación experimental de la unidad académica campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24–39.
- PNUD-INIFAT (2002), “Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana”.
- Ramírez, F., Gómez, J., y Flórez, V. (2011). Evaluación del Fertilizante Orgánico Líquido de Lombriz San Rafael en el Cultivo de Rosa cv. Classy. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64 (2): 6147-6157.

- Reinecke, A. J. & L. Hallatt (1989). Growth and cocoon production of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Biology & Fertility of Soils*. 8: 303–306.
- Reinecke, A. J., S. A. Viljoen & R. J. Saayman (1992). The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1295–1307.
- Reynolds, J. W. & M. J. Wetzel. (2010). *Nomenclatura Oligochaetologica. Supplementum Quartum. A catalogue of names, descriptions and type specimens of the Oligochaeta*. Illinois Natural History Survey Special Publication, Chicago.
- Rodríguez, A. V., & López, M. G. C. (2020). Basura Cero. *Gestión de residuos sólidos urbanos en México. RICSH Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 9(18), 130-150.
- Rodríguez, M. (2004). Manual de compostaje. Amigos de la Tierra, pg. 17-21.
- Saavedra, M. (2007). Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia fetida*. Granada: Universidad de Granada.
- Salazar, E. 2007. Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e Inocuidad. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo-Delegación Laguna. p 46, 47 y 311.
- Sánchez C. 2003. "Abonos orgánicos y lombricultura" Ediciones RIPALME. 54-57pp.
- Santos Alberto, C. F. (2017). Eficiencia de tres sustratos orgánicos para la obtención de humus de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) en San Juan de Lurigancho, 2017.
- Secretaría de Gobernación, (2014). "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos", en: Diario Oficial de la Federación. México, DF, 4 de junio de.
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBG\\_IR-15-mayo-2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBG_IR-15-mayo-2020.pdf).

- SCFI (2007). Norma Mexicana NMX-FF-SCFI-2007. Humus de Lombriz-Lombricompostaespecificaciones y métodos de prueba. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 16 de febrero de 2007.
- Shweta, Sharma M., Kumar A. (2005). Influence of pH on Earthworm, *Lampito Maurittii* Kingberg (Family Megascolecidae) in different Organic Wastes. *Vermis & Vermitechnology*. Pp 182-184. APH publishing corporation.
- Silva, J., López, p, & Valencia, P. (2012). Recuperación de Nutrientes en Fase Solida a través del compostaje.
- Suthar, S. (2006). Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. *Biore-source Technology*. 97(18): 2474–2477.
- Suclupe, D., Julio, M., Gonzáles Veintimilla, F., Quiñones Paredes, P., Iparraguirre, T., & Ricardo, J. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141-158.
- Tituaña Morocho, Beatriz Elizabeth. Elaboración de compost mediante la inoculación de tres fuentes de microorganismos a tres dosis. Tabacundo Pichincha. [En línea] (Tesis). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Escuela de Ingeniería Agronómica, Quito – Ecuador. 2009. p. 101. [Consulta: 30 de Noviembre de 2017].
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo . *Gaceta ecológica*, 11-12.
- Torres, Duilio, & Mendoza, Betty, & Meru Marco, Lue, & Gómez, Carlos (2016). Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela. *Multiciencias*, 16(2), undefined-undefined. [fecha de Consulta 23 de Noviembre de 2019].
- TULSMA, (2013). Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental, Libro VI Anexo 6.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. y Selvaradjou, S-K. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Luxembourg: Official Publications of the European Communities.

- Valenzuela, O. R., & Gallardo, C. S. (1997). Uso de lombricomposteo como medio de crecimiento para plantines de tomate (cv. Platense). *Revista Científica Agropecuaria*, 1, 15-21.
- Varbanov, P. S. (2014). Biotransformation of Biodegradable Solid Wastes into Organic Fertilizers using Composting or/and Vermicomposting. *Chemical engineering transactions*, 6.
- Vargas, J. W. P., Buzón, J. A., Vergara, D. A., & Molina, E. (2011). Reducción de los residuos sólidos orgánicos en Colombia por medio del compostaje líquido. *Ingeniare*, (11), 37-44.
- Vargas-Machuca, R. N. (2010). Vermicompostaje en el reciclado de residuos agroindustriales. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 12.
- Vargas, M. R. N. 2010. Vermicompostaje en el reciclado de residuos agroindustriales. In: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 de noviembre del 2010. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. 43 p.
- Vargas, O. Y. (1999). La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate . *scientia gerundensis*, 8.
- Velastegui Rivera, D. E. (2009). Caracterización físico-química y microbiológica de los lixiviados generados en las composteras del parque Itchimbia (Doctoral dissertation, Universidad Internacional SEK).
- Viljoen, S. A. & A. J. Reinecke. (1989). The life-cycle of the African Nightcrawler *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). *South African Journal of Zoology*. 24: 27-32
- Viljoen, S. A., A. J. Reinecke & L. Hartman. (1992). The temperature requirements of the epigeic earthworm species *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta) – a laboratory study. *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1341-1344.
- Vivas Díaz, A. F., Velasco, M., & Stephany, D. (2019). Producción de abono a partir del uso de diferentes dietas de procedencia orgánica para el proceso de vermicompostaje y compostaje, en la Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Valle del Cauca (Bachelor's thesis, Administración Ambiental).

- Vitorino, F.B. (2010). Fertilidad de Suelos y Abonamiento. Texto Universitario. UNSAAC – Cusco – Perú.
- Von, B. W. (2000). Comportamiento agronómico de 2 variedades de Acelga bajo dosis de abonamiento con humus de lombriz en Walpini; Revista Latinoamericana de Agricultura y Nutrición; Vol. 1, No. 5. P.6-13.
- Wang, Donghong; SHI, Qinghua; WANG, Xiunfeng; WEI, Mein; HU, Jinyu; LIU, Jun; YANG, Fengjuan (2010). Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). *Biol. Fertil. Soils* 46:689–696.