



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**Desarrollo de un método simplificado para la
producción de composta orgánica con residuos
domésticos**

T E S I S

Que para obtener el grado de:
Maestro en Planeación Estratégica e Innovación

Presenta:
Ing. José Abel Blanco Silva

Asesor:
Dr. Héctor Méndez Azúa

San Luis Potosí, S. L. P.

Octubre de 2020



RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta metodológica para obtener vermicomposta (también conocida como lombricomposta), el cual es un fertilizante natural obtenido a partir de residuos orgánicos, los cuales son procesados por lombrices y generan un compuesto rico en nutrientes, producto que cada vez va teniendo más auge en el sector agrícola. La propuesta consiste en identificar las variables que intervienen en el proceso de elaboración de vermicomposta, y a partir de ellas, generar un método estandarizado y escalable para la obtención de este producto. Como resultado de este trabajo se obtuvo una guía que presenta, paso a paso, el proceso, el cual fue validado mediante análisis químicos y la utilización del producto en un cultivo muestra, teniendo resultados altamente satisfactorios.

Palabras clave: *Vermicomposta, métodos estandarizados, cultivos agrícolas, fertilizantes naturales, Aprovechamiento de residuos domésticos.*

ABSTRACT

This work presents an approach developed to obtain vermicompost, which is a natural fertilizer obtained from organic waste that are processed by earthworms and generate a compound rich in nutrients, a product that is more and more used in the agricultural sector. The propose consists in to identify the variables of the vermicompost process and, from them, to generate a standard and scalable method to obtain the product. The result of this work is a guide that presents, step by step, the process, which was validated by a chemical analysis and the use of the product in a sample crop, having highly satisfactory results.

Keywords: *Vermicompost, Standard methods, Agricultural crops, Natural Fertilizers, Use of domestic waste.*

Contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Desechos orgánicos domésticos, retos y oportunidades	3
1.1 Problema	6
1.2 Problemática de generación de basura en la ciudad de S.L.P.....	6
1.2.1 Primera etapa, inicios del tratamiento de la basura en San Luis Potosí; período 1971-2006..	6
1.2.2 Segunda etapa: Tiradero El Peñasco y empresa Red Ambiental.....	10
1.3 El tratamiento y la disposición final de la basura en S.L.P.	11
1.3.1. Procesos de Red Ambiental.....	12
1.3.2. Aprovechamiento de material reciclable en tiraderos de San Luis Potosí	15
1.4 Potencial del tratamiento de desechos orgánicos en San Luis Potosí.	17
1.5 Preguntas de Investigación	17
1.6 Marco teórico.....	18
1.6.1 Energía.....	18
1.6.2 Compostaje.....	21
1.6.3 Alimentación animal	24
1.6.4 Selección de la técnica a adoptar para el aprovechamiento de residuos orgánicos	25
1.7 Hipótesis General:	28
1.8 Objetivos	28
1.9 Justificación	29
1.10 Alcance	29
1.11 Conclusiones de la sección 1	30
Capítulo 2: Propuesta metodológica para producción de vermicomposta con base en la utilización de residuos domésticos	31
2.1 Metodología	32
2.2 Etapas del desarrollo.....	32
2.2.1. Análisis del proceso de vermicomposta	33
2.2.2. Identificación de variables.....	35
2.2.3. Desarrollo del método adaptado de vermicomposta	40
2.2.4. Desarrollo de un método sistemático para la generación de vermicomposta.....	42

2.3 Diseño de un experimento para la evaluación de resultados.....	51
2.4 Conclusiones de la sección 2	59
Capítulo 3. Validación del método de vermicomposta propuesto	60
3.1. Acondicionamiento	61
3.1.1. Área de trabajo	61
3.1.2. Recolección de residuos orgánicos.....	63
3.1.3. Selección	63
3.1.4. Precompostaje	67
3.1.5. Prueba de aceptación.....	70
3.2. Inoculación	70
3.3. Cubierta de la cama.....	71
3.4. Alimentación y riego	71
3.5. Cosecha de lixiviados y vermicomposta.....	73
3.6 Maduración	74
3.7 Conclusiones de la sección 3	75
Capítulo 4. Discusión de resultados	76
4.1 Definición de indicadores.....	77
4.2 Cantidad de vermicomposta generada	78
4.2.1 Población de lombrices	79
4.3 Calidad de la vermicomposta generada.....	81
4.3.1 Inspección visual	81
4.3.2 Análisis químico.....	82
4.4 Análisis en cultivos	85
4.5 Conclusiones del capítulo.....	93
Conclusiones	94
Referencias	96

Índice de figuras

Figura 1: Esquema General Orgánico, extraído de Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos.	5
Figura 2: Hechos importantes en la gestión de la basura, realizados durante período 1971-2006 en San Luis Potosí.....	8
Figura 3: Proceso básico en la gestión de la basura.	12
Figura 4: Manejo integral de residuos, 7 pasos que mejoran la productividad..	14
Figura 5: Clasificación de productos derivados de residuos orgánicos.....	18
Figura 6: Etapas de desarrollo de metodología propuesta.....	33
Figura 7: Diagrama actividades de proceso de vermicomposta	34
Figura 8: Diagrama de relaciones entre variables que contribuyen al desarrollo de vermicomposta.. ...	38
Figura 9: Etapas asociadas al vermicompostaje.....	41
Figura 10: Tareas que se realizan en la actividad de acondicionamiento.....	43
Figura 11: -Materia orgánica preparada para hacer precomposta.	46
Figura 12: Figura ilustrativa de la prueba de aceptación.	46
Figura 13: Preparación de lecho o cama.	47
Figura 14: Tareas relacionadas a las actividades de Inoculación y cubierta de cama.	48
Figura 15: Tareas relacionadas la etapa de Alimentación y Riego.	49
Figura 16: Actividades relacionadas a la etapa de cosecha de lixiviados	49
Figura 17: Tareas relacionadas a la actividad de Cosecha de vermicomposta.....	51
Figura 18: Tareas relacionadas a la actividad de maduración.....	51
Figura 19: Ubicación de círculos recomendadas para hacer el muestreo.....	53
Figura 20: Tareas para realizar prueba de fertilidad.....	59
Figura 21: Zona con ubicación de área de trabajo.....	61
Figura 22: Área de trabajo y contenedor empleado.	63
Figura 23: Selección y separación de residuos orgánicos.	64
Figura 24: Picado y reducción de residuos orgánicos.	64
Figura 25: Prueba de aceptación de lombrices.....	70
Figura 26: Lixiviados de composta.	74
Figura 27: Aplicación de riego.....	75
Figura 28: Gráfica de comportamiento mínimo de población en buenas condiciones de manejo.	79
Figura 29: Grafica con los resultados obtenidos en la población experimentada.	80
Figura 30: Temperatura observada en la zona de San Luis Potosí durante periodo ene-dic 2018.	80
Figura 31 Vermicomposta madura preparada para utilizarse.....	82

Figura 32 Análisis realizado por Laboratorio Fertilab.	83
Figura 33 Plántulas de semillas de jitomate tomadas de un solo fruto.....	85
Figura 34: Plantas trasplantadas al lugar de observación.....	86
Figura 35: Crecimiento de las plantas en semana 4.	86
Figura 36: Plantas en semana 5.	87
Figura 37. Plantas en semana 7.	87
Figura 38. Plantas en semana 9.	88
Figura 39. Plantas en semana 12.	89
Figura 40 Plantas en semana 14.	90
Figura 41: Plantas en semana 17.	90
Figura 42. Plantas en semana 19.	91
Figura 43: Frutos en plantas en semana 20.	91
Figura 44 Jitomates cosechados de las plantas tratadas sin y con vermicomposta.	92

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla con ponderaciones a los criterios analizados..	26
Tabla 2: Escala de valores asignados para el criterio de evaluación analizado.....	27
Tabla 3: Matriz que analiza técnicas evaluadas con los criterios ponderados..	27
Tabla 4. Variables importantes del proceso de vermicomposta, desviaciones y su control.....	39
Tabla 5 Clasificación de residuos reciclables mediante proceso de vermicomposta y no aceptados....	45
Tabla 6 Monitoreo de variables y control.	54
Tabla 7: Material utilizado en el desarrollo del experimento.....	62
Tabla 8 Registro de residuos domésticos en proceso.	65
Tabla 9: Información de cantidades recolectadas para creación de primer lote.....	65
Tabla 10 Información de cantidades de materia recolectada para creación de Lote 2.	65
Tabla 11 Información de materia recolectada para creación de Lote 3.....	65
Tabla 12 Información de materia recolectada para creación de Lote 4.....	66
Tabla 13 Información de materia recolectada para creación de Lote 5.....	66
Tabla 14 Proporción de la reducción de la materia al transformarse en precomposta.	66
Tabla 15: Acciones a realizar en variables monitoreadas durante etapa de precomposta.	68
Tabla 16: Monitoreo y control de variables.	69
Tabla 17: Acciones a realizar en desviación de parámetros de control.....	72
Tabla 18: Tabla de frecuencia de alimentación y cantidades de precomposta utilizada.	73
Tabla 19 Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz (vermicomposta) de la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI 2008.	78
Tabla 20: Cantidades de materia obtenida.	78
Tabla 21: Comparativo de cantidades de lombrices resultantes.....	79
Tabla 22 Comparativo de especificaciones físicas del humus de lombriz (vermicomposta).....	84
Tabla 23: Comparativo de resultados del experimento.....	92

Glosario

Alimento peletizado. Se utiliza pelet del término en inglés Pellet, y se crea con materia orgánica tratada y comprimida en una bolita o píldora, para proveer de alimento a animales.

Biodigestor. Es un contenedor en el que se utilizan procesos de tratamiento para residuos orgánicos, y que evitan contaminar mantos freáticos, tiene como productos, el biogás y fertilizantes orgánicos.

Cocón. Nombre que recibe el huevecillo de las lombrices.

Composta. El compostaje es el proceso en el que la materia orgánica residual, se somete a una maduración, en condiciones necesarias, y que al degradarse se convierte en una materia orgánica estable, muy similar al humus del suelo y con funciones semejantes también (Ramos Alvaríño, 2005).

Lombriz Roja (*Eisenia -foetida*). También conocida como Roja Californiana, es una variedad de lombriz de color rojo, que disminuye su coloración en la parte ventral y esta segmentada con anillos, a lo largo de su cuerpo, suele andar sobre los terrenos alimentándose y al avanzar deja también sus evacuaciones enriqueciendo la tierra con nutrientes.

Residuos orgánicos. Se les llama a los desechos biológicos generados por actividades del hombre. En este trabajo se utilizan los residuos orgánicos domésticos comprendiendo restos de verduras y frutas generados en cocinas de casas hogar.

Vermicompostaje. Es el producto del proceso de alimentar con materia orgánica, a lombrices y, como sucede en el compostaje, parte de la estabilización de la materia, es también realizada por microorganismos de origen aeróbico. La materia obtenida, se conoce con diferentes nombres, entre ellos, vermicomposta, lombricomposta y humus de lombriz. (Amigos de la tierra, 2005).

Sustrato. Es el material en el que se desarrolla un ser viviente, tanto animal como vegetal, protege y da soporte.

Introducción

Uno de los principales problemas que se tienen en las grandes ciudades del mundo es el destino que se tiene que dar a la basura que se genera. Estos problemas abarcan diferentes rubros, pueden ser vistos como problemas sociales (Macías Manzanarez, 2009) (Pineda Pablos & Loera Edmundo, 2006) (Druker Colin & Beyer, 2010) debido a que la población no desea tener en sus hogares la basura por los problemas de higiene que generan, problemas de gobierno (Rosell, 2013), (Parra, 2009), debido a que los entes gubernamentales deben generar los mecanismos para recolectar y disponer los residuos generados, problemas ambientales (Rodríguez Salinas & Córdova y Vazquez, 2006) (Parra, 2009) (León Gómez, 2012), debido a que el mal manejo de estos residuos pueden tener impactos dañinos para el medio ambiente como contaminación de mantos acuíferos, contaminación del aire, proliferación de plagas nocivas, etc.

Este trabajo aborda la problemática desde un punto de vista ecológico, atacando transversal y moderadamente el ámbito social. Se trata del aprovechamiento de desechos orgánicos generados en los hogares con la finalidad de generar composta que pueda ser utilizada para diversos fines, que pueden ir desde el uso personal hasta el uso comercial.

Estos procedimientos ya son utilizados en países desarrollados y recientemente han sido adoptados por algunas delegaciones de la Ciudad de México, en donde se busca utilizar y procesar desechos orgánicos para la generación de composta en lugar de ser depositados en rellenos sanitarios. Sin embargo, en este país, la atención a este aprovechamiento de desechos orgánicos ha generado muy poco impacto (Rodríguez Salinas & Córdova y Vazquez, 2006) y la información de los resultados obtenidos es muy pobre y desalentadora. Las causas son variadas: el impacto del tratamiento de los desechos orgánicos no obtiene los beneficios económicos que se logran con otros desechos (plástico, papel, metal), desconocimiento de los procesos e infraestructura para el manejo de estos residuos, poca cultura ecológica, entre otras.

El objetivo de este documento es analizar los procesos involucrados en el tratamiento y aprovechamiento de desechos orgánicos y generar metodologías claras y fácilmente escalables que permitan a los interesados adentrarse en estas actividades de acuerdo con sus necesidades de manera de que se pueda contribuir con la mejora del medio ambiente y a la vez se puedan obtener beneficios de diversas índoles (usos domésticos, comerciales o de impacto social).

Capítulo 1.

Desechos orgánicos domésticos, retos y oportunidades

El crecimiento de poblaciones se presenta en todo el mundo y en el caso de San Luis Potosí, ha sucedido en su área conurbada con el Municipio de Soledad de Graciano Sánchez. El crecimiento se ha dado en gran parte por el desarrollo económico y la diversificación de la industria. El crecimiento urbano ha dejado a muchos extrabajadores agrícolas, marginados de su actividad laboral, por lo que recurren a una alternativa que es la separación de basura. (Guzmán Chávez & Macías Manzanares, 2012)

El crecimiento ha traído dos problemas relacionados con la basura, que no han sido adecuadamente considerados; uno de ellos, que es el que aquí atañe, es el crecimiento urbano y la generación de mayores volúmenes de basura.

Afirman las autoridades locales que el promedio de desechos por persona es de 700 gramos, a un kilo de desechos sólidos al día y su composición es mayoritariamente desechos orgánicos. Esto se evidencia con el promedio de desechos por persona ha aumentado (Guzmán Chávez & Macías Manzanares, 2012) y que la principal preocupación de municipio de San Luis Potosí, en cuanto al manejo de la basura ha sido el aseo público y la recolección, ya que, por mucho tiempo las mejoras al servicio de recolección fueron, ampliar el parque vehicular de camiones recolectores, así como intentar concesionar el servicio, sin lograrlo.

Este capítulo tiene como objeto presentar el contexto en cual se desarrolla este trabajo, haciendo énfasis en la situación actual del tratamiento de la basura orgánica en México, más específicamente en la ciudad de San Luis Potosí; así como un análisis de trabajos desarrollados con el tema aquí expuesto con la finalidad de utilizarlos como base para el desarrollo de la propuesta metodológica

En vigencia, está la Norma oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 que “especifica las generalidades ambientales para determinar el mejor sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos y urbanos de manejo especial.” Es importante mencionar que las normas, leyes, y reglas, pueden señalar el rumbo de lo que se debería hacer, y partir de la realidad de las instituciones para reforzar y transformar los métodos que manejan los residuos sólidos municipales (Macías Manzanarez, 2009)

Hace algunos años, surgió en México la inquietud por atender los problemas de residuos sólidos y se crearon nuevas leyes para su manejo (Macías Manzanarez, 2009). Esto creó una gran desorganización entre los congresos, autoridades locales, gobiernos estatales,

ayuntamientos, pues las responsabilidades se duplicaban y existía competencia por funciones a realizar. Para atacar este problema, en 2002 se asignaron roles y responsabilidades a las dependencias federales, estatales y municipales para el tratamiento de residuos sólidos urbanos.

Es importante mencionar, que se observa entre las responsabilidades asignadas a cada actor participante mostrado en la Figura 1, no se especifica una responsabilidad para el tratamiento o reciclaje de la basura generada. En la actualidad, los procesos de recolección y traslado de basura son llevados a cabo por la empresa Red Ambiental; su forma de trabajo se presenta en el siguiente apartado con la finalidad de analizar sus procesos y uso que se le da a la basura recolectada.

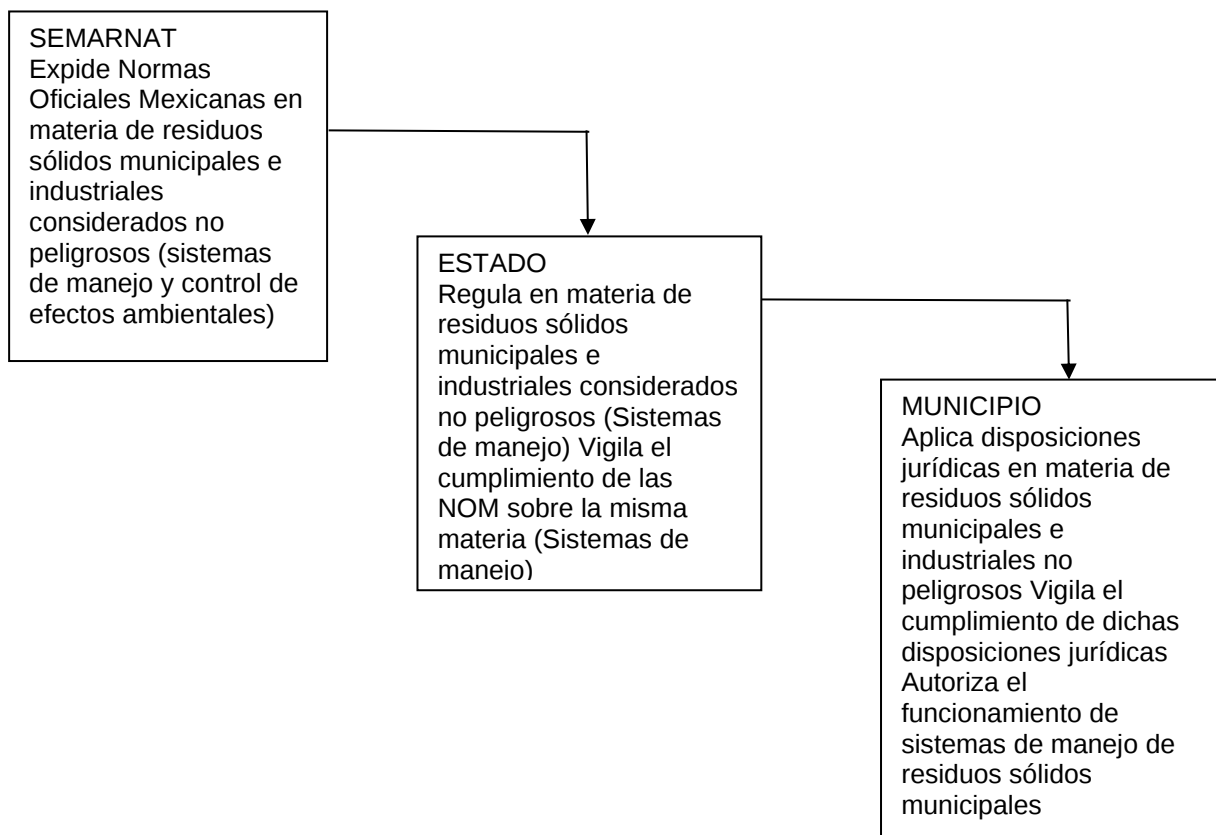


Figura 1: Esquema General Orgánico, extraído de Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Humanos, 2001)

1.1 Problema

El sistema de tratamiento de la basura tiene un método incompleto en el proceso de tratamiento de la basura debido a que ha sido adaptado y transformado durante las diferentes administraciones que han tenido la responsabilidad de liderar la limpieza, recolección y tratamiento de la basura. El desarrollo, evolución, así como las circunstancias del sistema de tratamiento de la basura en San Luis Potosí, han llevado a menospreciar y no aprovechar los residuos orgánicos que terminan en la basura.

1.2 Problemática de generación de basura en la ciudad de S.L.P.

Este apartado tiene como objetivo mostrar la evolución del manejo de la basura en la ciudad de San Luis Potosí. La información se presenta en 2 partes: la primera presenta los inicios de la sistematización del manejo de la basura y abarca un periodo de 1971 a 2006, en la cual se establecen las políticas y estrategias iniciales para el manejo de la basura en la ciudad. Posteriormente se presenta la segunda etapa, que va del 2006 a la fecha y en donde la explicación se centra en la evolución del tiradero "Peñasco", que es el que se utiliza actualmente y en donde se explica la forma actual de recolectar y tratar la basura ahí depositada.

1.2.1 Primera etapa, inicios del tratamiento de la basura en San Luis Potosí; período 1971-2006

El organismo encargado de la basura en la ciudad de San Luis Potosí, ha sido el municipio de esta ciudad, básicamente con el departamento de ecología, y parte de su historia se representa en la Figura 2 en la que se muestra los eventos más relevantes durante el periodo 1971-2006. En esta figura se muestran los énfasis que cada administración dio en su momento, así como las resoluciones a los problemas que se presentaron en diferentes periodos de las administraciones respectivas. La información presentada proviene principalmente del trabajo de tesis titulado Uniones Voluntarias de Recolección de Basura. Redes sociales y relaciones de poder, realizada por Alejandro López Meléndez (López M., 2007) y es complementada con información adicional que es referenciada en su momento.

- 1971. La basura se convierte en un serio problema por incremento demográfico y consumismo. Calles y lotes baldíos acumulan basura que provocan encharcamientos en tiempo de lluvias

- 1980. El alcalde en turno Miguel Valladares solicita disponer del viejo parque vehicular para venta, donación e intercambio, realizando estas actividades con los municipios de Matehuala, Rioverde, Santa María y Soledad de Graciano Sánchez.
- 1983. El presidente municipal, Dr. Salvador Nava M. solicita vender maquinaria, material de parque vehicular en condiciones de chatarra y se le autoriza con la condición de que los ingresos se utilicen en el mismo departamento.
- 1985-1988. Se trató concesionar el tratamiento de basura para que el municipio se dedicara solo a la recolección y transporte de la basura; esto durante la administración del presidente municipal Guillermo Medina de los Santos, sin lograrlo.

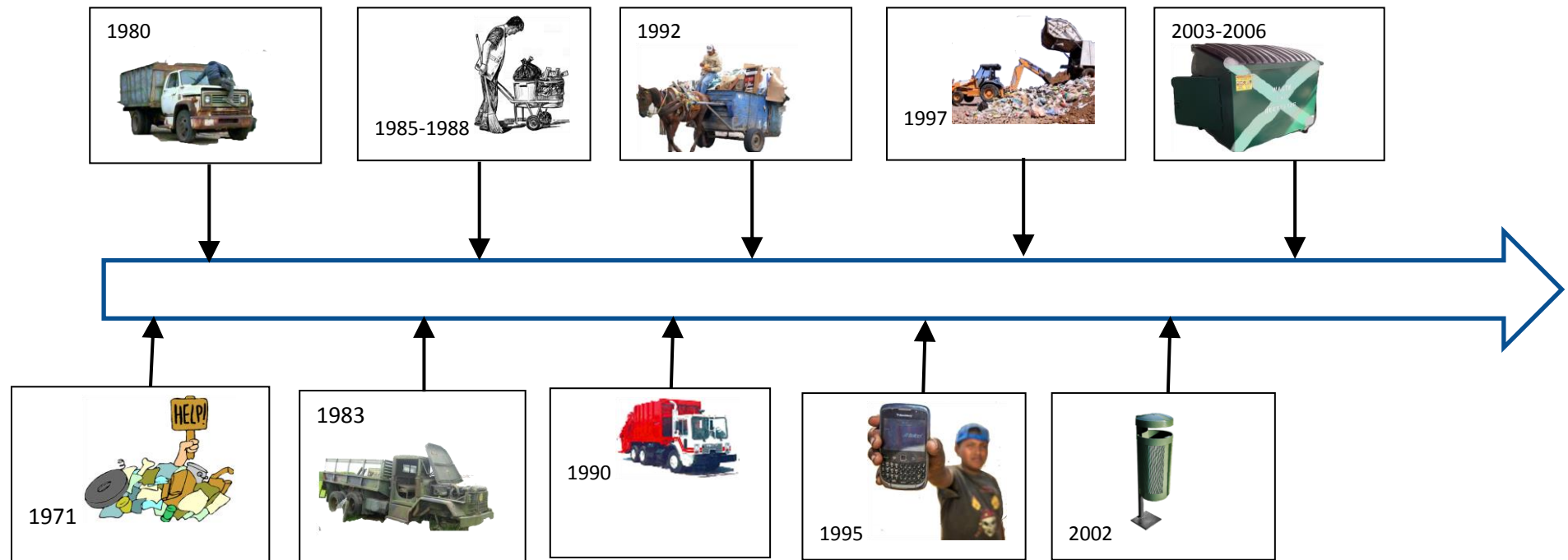


Figura 2: Hechos importantes en la gestión de la basura, realizados durante período 1971-2006 en San Luis Potosí (Barredor, istockphoto.com, camión desguace ee-
today.com,)

- 1990. El presidente municipal Guillermo Pizzuto Z. adquiere nuevo parque vehicular y solicita opinión para instalar una planta de tratamiento. Se utilizan contenedores como alternativa a la recolección de la basura y se utiliza área natural protegida camino a la presa como centro de ingreso de las unidades que llevaban los contenedores.
- 1992. Durante la presidencia de Mario Leal Campos, se agudiza el problema de recolección de la basura y se forma un patronato para resolver el problema ecológico y de recolección de desperdicios domésticos e industriales. Se consigue un financiamiento para la adquisición de vehículos, la concesión no se logra por los requisitos que no cumplió la empresa propuesta. Las Uniones Voluntarias de Recolección de Basura (UVRB) forman parte importante de la recolección de basura.
- 1995. En la presidencia municipal en turno Luis José García Julián, reconoce el mal estado en que se encontró el parque vehicular al trabajarse sin un programa de mantenimiento y enfoca la mejora al tratamiento y reutilización con la ayuda de las uniones voluntaria de recolección de basura (UVRB) y recolectores particulares Inicia operaciones el tiradero Peñasco de forma improvisada sin cuidado al medio ambiente
- 1997. El tratamiento de la basura no fue prioridad durante la administración del Lic. Alejandro Zapata Perogordo, pero se dedica a adquirir espacios para depositar la basura y adquiere el terreno de lo que sería el primer tiradero controlado (Santa Rita). El tiradero Santa Rita comienza a funcionar en el año 2000.
- 2002. En la administración que trabajó el presidente municipal Marcelo de los Santos Fraga, se incrementaron las rutas de recolección y se contrató a la empresa Plastic Omniun Sistemas Urbanos para encargarse en todo lo relacionado con este sistema.
- 2003-2006. En esta administración fungió como presidente municipal el Ing. Octavio Pedroza Gaitán. Se incrementaron las rutas de recolección en tres turnos de trabajo llegando a un 95% del área urbana. Se retiraron los contendores por no funcionar adecuadamente. En 2005 el tiradero Peñasco se convierte en estación de transferencia modificada (Macías Manzanarez, 2009).

Durante el período mostrado, las actividades muestran planeación a corto y mediano plazo. En cada administración se sortean diferentes circunstancias debidas a problemas

heredados de administraciones pasadas y en cada periodo se generaban soluciones temporales, faltando la visión de la continuidad y el largo plazo. Ejemplo de esto son las grandes inversiones que se tienen que hacer en adquisición de camiones recolectores, omitiendo la necesidad del mantenimiento a los camiones. De ahí surge el plan de entregar en concesión la gestión de la basura, la cual aparece como una solución válida, pero que no considera los problemas que administraciones anteriores ya han tenido y que son los costos y las finanzas. Los problemas que se han tenido son de tipo técnico, económico, social, político y administrativo. Un análisis de esta situación es presentado a continuación.

1.2.2 Segunda etapa: Tiradero El Peñasco y empresa Red Ambiental

Durante la administración municipal de Jorge Lozano el relleno Sanitario Santa Rita es clausurado (2006) y se contrató a la empresa Vigue, Relleno Sanitario S.A. de C.V. (Surgida del grupo Red Ambiental) para el manejo del tiradero el Peñasco (2007), que incluía dentro de algunos otros puntos más, las de solucionar desperfectos de construcción, manejo del relleno, compresión de la basura vertida en el montículo, creación de sistema de recolección de biogás, así como también recolección para los lixiviados. (Guzmán Chávez & Macías Manzanares, 2012).

Para las administraciones de Victoria Labastida (2009-2012), y Mario García (2012-2015), sus acciones para la gestión de la basura se quedaron en buenas intenciones, debido a que desatendieron la supervisión a la empresa recolectora de basura, siendo su responsabilidad el instalar y mantener una báscula, para contabilizar el ingreso de las toneladas de basura al centro de confinamiento Peñasco. La responsabilidad fue cedida a la empresa proveedora del servicio de recolección, y se operó con la báscula instalada por la propia empresa. (Ciudadanos observando, 2016)

Llegando casi a término de la administración de Mario García, la empresa Red Ambiental interpone una denuncia, por el adeudo de 88.7 millones, y procede a un juicio ejecutivo mercantil contra el Ayuntamiento, señalando un terreno con valor de 300 millones. De acuerdo con el expediente 175/2015, el juez se declara no competente para encargarse del asunto, ya que se debió proceder por vía administrativa y no civil, anulando la demanda. (Ciudadanos observando, 2016).

Al iniciar la administración de Ricardo Gallardo (2015-2018), sobresale el desorden de las administraciones pasadas, al no tener los pagos al corriente por el servicio de recolección y dejar aumentar los adeudos. Ricardo Gallardo se niega a pagar los adeudos de administraciones pasadas, saldando únicamente los pagos que inician en su período de trabajo. En negociación con la empresa Red Ambiental Vigue, finalmente tiene que acceder y entregar notas de crédito por los adeudos de administraciones pasadas.

A través de esta breve revisión histórica de las diferentes administraciones municipales, se ha visto una voluntad por mejorar el servicio de tratamiento de la basura, que como se ha visto abarca aspectos como la recolección, traslado, tratamiento y disposición final. Se percibe en todo este historial que sus objetivos principales han recaído en la recolección y traslado, tratando de evitar los problemas técnicos, administrativos y sociales que contienen los aspectos de tratamiento y disposición final.

Las soluciones a los problemas que se han presentado han tenido maneras creativas y diferentes de afrontar, pero con desacuerdo entre administraciones posteriores, por la forma en que se presentaron las soluciones. La evolución del tratamiento de la basura San Luis Potosí ha mejorado, y ha tenido también contratiempos, pero el problema continúa creciendo con la evolución y desarrollo de la ciudad de San Luis Potosí y sus municipios conurbados. Las soluciones se han limitado a la creación de los rellenos sanitarios de Santa Rita y Peñasco.

Con el cierre de Santa Rita, los servicios de recolección, traslado, tratamiento y disposición final han sido concesionados a la empresa Red Ambiental Vigue Relleno Sanitario, en una primera etapa de funcionamiento en San Luis Potosí, se dedicó a remediar el tiradero de Peñasco. Después de la remediación, sustituyó al departamento de ecología del municipio en el tratamiento. (Macías Manzanarez, 2009), y fue contratada para la recolección y traslado de la basura en la ciudad, actividad que desempeña hasta la actualidad (Ciudadanos observando, 2016). Sus procesos y responsabilidades son abordados en apartados posteriores.

1.3 El tratamiento y la disposición final de la basura en S.L.P.

Pero ¿de quién es la responsabilidad de tratar la basura? ¿Existe o debe de existir realmente un ente responsable de esta actividad? Como generadores de basura, cada ciudadano

es corresponsable junto con los gobiernos locales de mantener limpios los lugares que se habitan, pero la responsabilidad práctica se deja a gobiernos de municipios.

1.3.1. Procesos de Red Ambiental

El proceso del manejo de la basura, que era realizado anteriormente por el municipio de San Luis Potosí, se realizaban cuatro procedimientos básicos, que son la recolección, traslado, tratamiento y disposición final, con algunas subdivisiones que se hacen de acuerdo al proceso de trabajo del lugar (Macías Manzanarez, 2009) (ver Figura 3).



Figura 3: Proceso básico en la gestión de la basura. Elaboración propia con imágenes de (Uniradio noticias, 2018), (Domínguez, 2016), (Plano informativo, 2015), (Macías Manzanarez, 2009), (Fregoso, 2012), (Rodríguez, 2015)

- La recolección, que consiste en recoger desechos sólidos urbanos, de los considerados no peligrosos, casa por casa.
- El traslado, que consiste en transportar los desechos hacia una planta de tratamiento.
- El tratamiento, cuyas actividades están agrupadas en 3 subdivisiones de acuerdo con el lugar de trabajo y al orden en su proceso:
 - La recepción, que para el caso de relleno sanitario Peñasco, trata de mantener un orden en los camiones que ingresan y el lugar donde se deposita la basura.
 - La recuperación; son las actividades que realizan los pepenadores para reutilizar el material, que perciben puede vender y sacar un provecho; y la colaboración de empresas que les compran los materiales que se usarán como materia prima en sus procesos de reciclaje.
 - La transferencia, que es la actividad para mantener junta la basura temporalmente, para posteriormente llevarla a un relleno sanitario o de disposición final.
- Disposición final; se le llama al lugar que está construido, con ciertas normas oficiales para funcionar para el confinamiento de la materia que ya no es conveniente recuperar.

La empresa Red ambiental considera algunas recomendaciones para el adecuado manejo de residuos de forma productiva (Red Ambiental, 2015), describiendo algunas de las actividades que se realizan en su proceso de trabajo mostrado en la Figura 4.

- Se maneja el término “*Generación*”, que es un diagnóstico base que ayuda a definir la cantidad y los tipos de residuos generados para determinar si la infraestructura actual es adecuada para el manejo que se va a realizar.
- “*Recolección*” define las rutas, los días y las horas en que el personal recoge los residuos no peligrosos, como son los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y los Residuos Sólidos de Manejo Especial (RSME). Los servicios de recolección proporcionados por la empresa de Red Ambiental para la ciudad de San Luis Potosí se llevan a cabo de dos formas distintas: el de acera y de esquina. En el primero, el servicio consiste en recolectar calle por calle frente a domicilios, mientras que, en el segundo, que se ofrece cuando al camión no le es posible ingresar a la calle, se solicita que la basura sea colocada en las esquinas de las calles, esto con el fin de ser eficaz y tener una calidad confiable, para el 100% de residuos producidos. Los residuos recolectados son llevados

una estación de transferencia, en donde permanecerá temporalmente hasta que se recuperen los materiales que se pueden reutilizar.

Dentro de “*Manejo interno*” está el registro de las cantidades ingresadas al sitio, para posteriormente hacer la recuperación del material reciclable.

- “*Almacenamiento*” es una forma temporal de preparar materia, mediante controles y registro, para posteriormente enviarse a sitios donde se hace el aprovechamiento al venderlo y tener una remuneración económica
- “*Adecuación*” trata de proteger las marcas de empresas, que tienen materiales caducos o defectuosos y por tanto hay que destruir, para que no sean recuperados y vendidos como si estuviesen en buenas condiciones.
- “*Disposición final*”, donde el material que no es posible recuperar, es llevado para mantenerse en confinamiento.

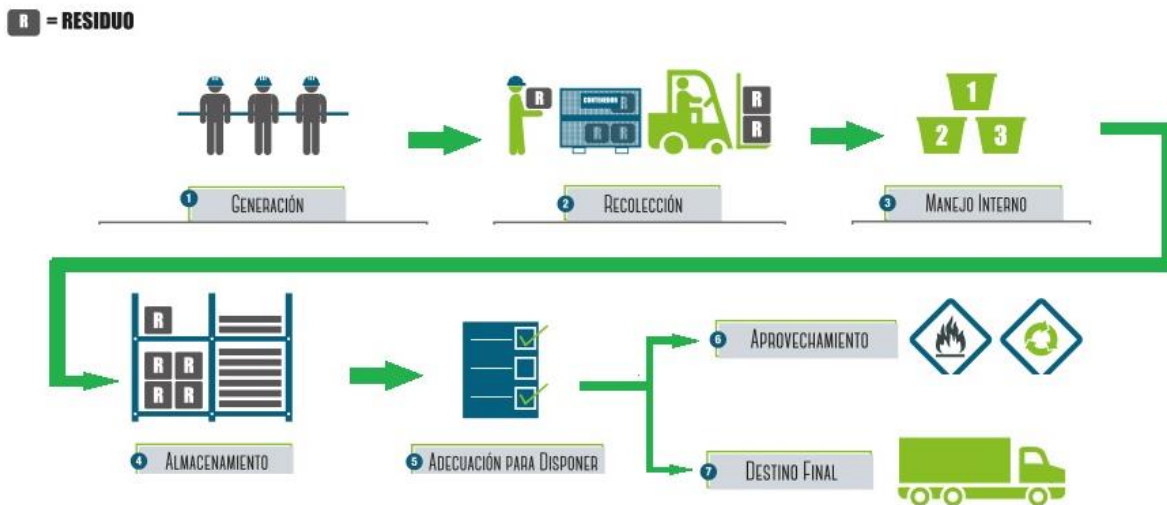


Figura 4: Manejo integral de residuos, 7 pasos que mejoran la productividad. Elaboración propia a partir de (Red Ambiental, 2015).

En la actualidad Red Ambiental utiliza 31 camiones para la recolección de residuos, en las rutas y horarios en los que se realiza el servicio. El traslado se hace generalmente al tiradero Peñasco, pero en épocas de mayor demanda del servicio, se realizan traslados desde Peñasco a San Juanico, pues normalmente se generan 650 toneladas de basura. (Plano Informativo, 2018). Sin embargo, como se puede notar en los procesos descritos por la empresa red Ambiental en la Figura 4, en la etapa “manejo interno” solamente menciona que se hace un registro de materia

que se puede aprovechar, pero no se menciona cómo se lleva a cabo la etapa de aprovechamiento de materiales. Una investigación adicional permitió identificar lo que pasa el interior de los tiraderos y esta información se presenta en el siguiente apartado.

1.3.2. Aprovechamiento de material reciclable en tiraderos de San Luis Potosí

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de esta sección es investigar qué pasa con los residuos orgánicos que son generados en la ciudad de San Luis Potosí. Para alcanzar este objetivo, se ha realizado una investigación documental que ha permitido desglosar el proceso de recolección y tratamiento de basura en esta ciudad. Ahora se llega al punto que realmente es de interés para este trabajo, después de la recolección y traslado de la basura generada en la ciudad, ¿qué pasa con los desechos orgánicos?

Las acciones de separación de basura con fines de reutilización son efectuadas por particulares, quienes se encargan de identificar y recolectar basura “valiosa” que puedan vender en empresas que requieren de esos insumos, tales como fundidoras, cartoneras, papeleras, etc.

Las personas encargadas de realizar esta labor son popularmente conocidas con el nombre de *pepenadores*; consideradas por algunos como un mal no deseado. El relleno sanitario Peñasco ha continuado en servicio, gracias al servicio que ha prestado la recolección y reciclaje informal de *pepenadores*. Red Ambiental permite, que los *pepenadores* hagan la selección de materias que se pueden reciclar.

Para los *pepenadores*, el motivo de hacer el trabajo de recuperar materiales para vender es que obtienen ingresos que no pueden obtener en un trabajo formal, con la ventaja que no dependen de un jefe directo. Su actividad la pueden realizar las 24 horas del día, y la mayoría prefiere trabajar en el horario de la mañana; trabajan un promedio de 9 horas y sus ganancias dependen en parte a su voluntad de trabajar, aunque dicen entre ellos, que la suerte también cuenta.

Su labor, la realizan en dos áreas del tiradero: una es en la plancha de descarga, donde los camiones vacían su basura, y otra en los cerros que se forman para compactarla, aunque los más jóvenes y hábiles pueden subirse a los camiones que van entrando, e ir seleccionando dentro del camión, antes de la descarga. No existe un reglamento, donde se obligue a un

pepenador a que recoja algún tipo de material, el pepenador puede seleccionar por su criterio, si percibe algún material con valor que pueda recoger, y observando esto, algunas materias pueden tener valor para algunos, y para otros no, y mucha materia puede pasar el proceso de selección, sin ser aprovechada y ser destinada al vertedero. (Macías Manzanarez, 2009).

Dentro del ámbito de reciclaje de materiales, se tiene una amplia gama de cosas a reciclar, puede reciclarse materias como el papel, el cartón, vidrio, plásticos en sus diferentes variedades, ropa, metales (fierro, aluminio, cobre, etc.), madera, huesos de animales (Macías Manzanarez, 2009) y en el caso de este documento, el interés está centrado en la los residuos domésticos de materia orgánica, que se forman del desperdicio de cáscaras de frutas y vegetales y sobrantes de comidas, que en algunos casos, se rescatan de tiraderos de basura y los residuos domésticos son utilizados como alimento para cerdos.

La materia orgánica, a comparación de otros materiales encontrados en la basura, es un poco más difícil de reciclar, por el motivo que, al tener diferentes elementos mezclados dentro de la basura, es complicado recoger los residuos orgánicos, y existen también elementos orgánicos de podas y jardines, que son poco valorados (Cadena Maya, Hernández Castillo, & Osorio Solano, 2009).

En cuanto al aprovechamiento de recursos dentro del sistema de gestión de la basura, el procedimiento de recuperación, como ya se había mencionado, lo realizan los pepenadores, recursos que de otra forma se podrían considerar un desperdicio; por otra parte, se percibe que el proceso de recuperación se puede mejorar si se hiciera durante la recolección. Como consecuencia de mezclar los residuos que se generan y después se separan dentro de su proceso de gestión, se tiene un costo alto en cuanto a tiempo de trabajo, mano de obra y eficiencia.

Con todo lo anteriormente mostrado y, con base en la investigación realizada, se ha observado y comprobado que el potencial de mejora se encuentra en el aprovechamiento de desechos orgánicos, que no son explotados eficientemente. El potencial de esta propuesta es presentado en el siguiente apartado.

1.4 Potencial del tratamiento de desechos orgánicos en San Luis Potosí.

Aunque la generación de basura, no es un tema que se haya concebido en este siglo, el crecimiento de la concentración poblacional en las ciudades, si ha sido muy notorio en estas últimas décadas, aumentando también la necesidad de soluciones más eficientes que incluyen problemas de tipo técnico, ambiental, social, político y administrativo (Macías Manzanarez, 2009).

El buen funcionamiento de una tecnología, para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos, está en relación con la geografía, rasgos sociales, economía, así como las formas de generación, composición fisicoquímica de los residuos de una zona. El nivel de tratamiento depende del nivel de la economía, y el método de tratamiento obedece a los rasgos geográficos y sociales de producción de residuos.

Las grandes ciudades de un país muestran el sentido de desarrollo, pero deben estar muy de acuerdo a sus circunstancias de actualidad. (Orta de Velásquez, y otros, 2009) El aprovechamiento que se hace en otros países, como es el caso de algunas regiones de Asia como es en: India, Sri Lanka, Bangladesh, Pakistán, donde los desechos orgánicos son muy solicitados por el sector agrícola, los residuos orgánicos son utilizados como materia prima para composta (Ali, y otros, 2004). De forma parecida a la creación de composta, existe una técnica la cual emplea lombrices que se alimentan de desechos orgánicos y los convierten en abono de buena calidad (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Una tradición antigua, que ha sido utilizada en países como la India y China, es la utilización de biodigestores artesanales para el aprovechamiento de los gases generados por la descomposición de la materia orgánica, y este conocimiento ha sido aprovechado en países desarrollados, en los que se utilizan biodigestores con procesos industrializados, para posteriormente utilizar los gases en generadores eléctricos.

1.5 Preguntas de Investigación

- a) ¿De qué forma se pueden aprovechar los residuos orgánicos?
- b) ¿Cuál es el método o técnica que mejor se adapte para el aprovechamiento de los residuos orgánicos?

- c) ¿Cuáles son los principales beneficios que tendría con el aprovechamiento de estos residuos orgánicos?
- d) ¿Es posible sistematizar un proceso para el aprovechamiento de desechos orgánicos domésticos?

1.6 Marco teórico

Para dar respuesta a la primera pregunta de investigación, en este apartado se presenta una semblanza de las técnicas más utilizadas para el aprovechamiento de residuos orgánicos.

Un estudio inicial permitió identificar que el aprovechamiento de residuos orgánicos puede ser clasificado en tres grandes rubros: Energía, Compostaje y alimentos para ganado. En cada rubro se lograron identificar sub-divisiones, las cuales se presentan en la Figura 5.

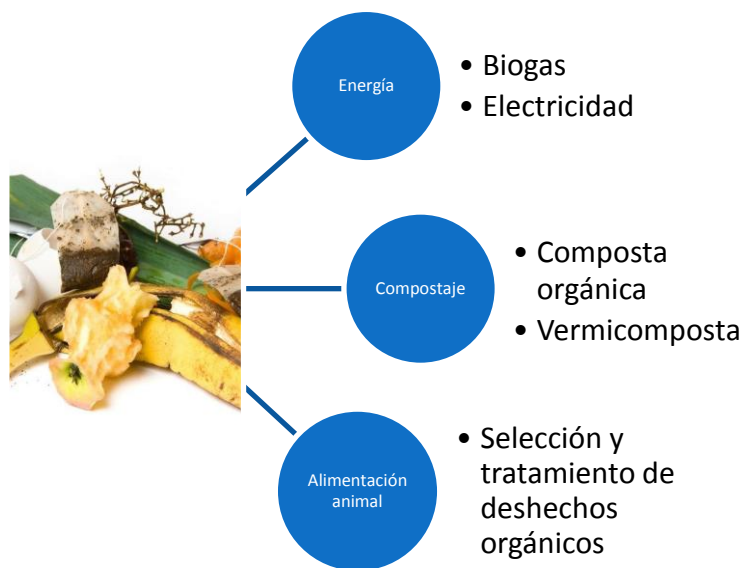


Figura 5: Clasificación de productos derivados de residuos orgánicos. Elaboración propia.

1.6.1 Energía

Los trabajos analizados permitieron identificar que con los residuos orgánicos es posible obtener 2 tipos de producto energético:

Biogás

De forma natural, este gas se produce en los lugares en donde existe agua estancada. El biogás es un residuo de la transformación de residuos orgánicos y la mayor parte de él está compuesta por el gas metano y dióxido de carbono.

La aplicación principal del gas es su utilización como combustible, el cual proporciona calor al quemarlo, y se puede utilizar en las cocinas cercanas al lugar de producción. Otra aplicación popular es utilizar el gas para transformar la energía química del gas, en energía eléctrica utilizando una moto generadora. Estas formas de aprovechar el biogás son en aplicaciones de apoyo que funcionan muy bien en el sector agrícola (Varnero Moreno, 2011).

El gas se obtiene mediante un proceso conocido como anaeróbico, el cual requiere de diferentes etapas. Los cambios que ocurren en ellas son debidos a la acción de una gran variedad de bacterias y son necesarias algunas condiciones fisicoquímicas tales como la temperatura, composición de la materia y el tiempo de retención hidráulica para el desarrollo de todo el proceso anaeróbico (Lorenzo Acosta, & Obaya Abreu, 2005).

La producción de biogás tiene como característica importante, que la materia orgánica que puede ser utilizada, puede ser de diferentes orígenes. El contenedor donde se realiza la transformación es llamado bio-digestor, y sus características de producción, deben estar de acuerdo con la materia que se va a utilizar. La escala de producción anaeróbica es muy flexible, pues existen desde pequeños bio-digestores aplicados a laboratorios, hasta grandes bio-digestores industriales. (Varnero Moreno, 2011)

A continuación, se mencionan algunas de las más importantes ventajas y desventajas (Agro waste, 2014a)

Ventajas:

- El biogás, con un alto poder calorífico, puede ser utilizado en la propia instalación para generación de electricidad y/o calor (co-generación); con el consiguiente beneficio económico.
- El biogás es un biocombustible (energía renovable):
 - Cumplimiento de los objetivos del protocolo de Kyoto, objetivos europeos de producción de energía renovable
 - Posibilidad de subvenciones a innovación y demostración en aplicaciones concretas.
 - Posibilidad de subvenciones e incentivos para la inversión en instalaciones de biometanización
- La materia orgánica resultante final (digerido) está bastante estabilizada.

- Los digestores trabajan dentro de un rango de humedad que se acerca al de la mayoría de los materiales orgánicos aptos para su biodegradación.
- Se puede trabajar simultáneamente con varios subproductos.
- Reducción de la cantidad de subproductos a gestionar.
- Reduce los problemas de olores.
- Sistemas conocidos, simples y fáciles de gestionar.
- Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Reducción de la emisión de metano evitando el deterioro de la capa de ozono.

Desventajas:

- Difícil mantener la estabilidad del proceso.
- Es muy sensible a tóxicos inhibidores.
- La puesta a punto del sistema requiere largos periodos.
- En muchos casos, se requiere grandes capacidades de tratamiento para un mejor control del proceso y su buen funcionamiento. El volumen del digestor puede ser grande.
- Requiere de una inversión inicial elevada en obra civil e implantación de los equipos.

Electricidad

La aplicación para generar electricidad es implementada mediante la acción de un motor de combustión y un generador. Se considera a la electricidad como un producto secundario de la generación del biogás, así como los efluentes residuales del proceso que pueden ser utilizados como un abono para fertilizar plantas. (Varnero Moreno, 2011).

El empleo principal de la electricidad generada por biogás, recuperado de residuos orgánicos, es utilizarlo como apoyo para el mismo sistema de generación del biogás (para evitar realizar costosas instalaciones eléctricas) y generalmente se usa como servicio eléctrico doméstico, cuando el alcance de generación de gas lo permite (Keung, 2010).

El biogás recuperado de residuos orgánicos es comúnmente empleado para generar calefacción y cocinar, pues para generar electricidad es poco utilizado debido a la gran inversión que debe hacerse y a la cantidad de energía generada que no lo vuelve realmente costeable.

Para la generación de electricidad se utiliza con más frecuencia, la generación de biogás con excretas animales; y la comercialización de la electricidad producida es más común en proyectos semiindustriales. (Maser Cerutti, Aguillón Martínez, & Arvizu Fernandez, 2006). Por la cantidad de energía generada en relación con la inversión requerida, esta no es una opción considerada como posible desarrollo para este trabajo.

Ventajas:

- Se puede obtener un servicio eléctrico independiente de una red eléctrica, lo que en localidades remotas puede ser una buena opción para generación de energía.

Desventajas:

- Si no se utilizan exclusivamente residuos orgánicos, la alternativa sería la utilización de alimentos o forraje, en lo que la ventaja desaparece al utilizar materia prima originalmente considerada para otro sector.
- Requerimientos técnicos especializados.

1.6.2 Compostaje

Se distingue por ser un proceso que se realiza en presencia de oxígeno (aerobio) y diferentes microorganismos, los cuales aprovechan el contenido de Carbono y Nitrógeno en la materia orgánica para su propia alimentación, descomponiendo la materia en una más simple con menos Carbono y Nitrógeno, produciendo calor en diferentes niveles. (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Las siguientes técnicas son consideradas como prácticas básicas, para la enmienda de suelos, con estrategias sencillas; en sus etapas iniciales son similares, pero sus agentes que descomponen la materia son los que determinan su diferencia y procesamiento.

Composta orgánica

Para la elaboración de la composta, la materia a utilizar debe cumplir con las siguientes características deseables: La combinación de residuos orgánicos domésticos, con hojas de árboles o desechos de jardín que tiendan a ser color marrón, para balancear la *relación Carbono/Nitrógeno*. Si no es posible, es bueno tener una variedad amplia de materia, como

restos de plantas, malezas, ramas podadas (Amigos de la tierra, 2005). El contenido de *humedad* es también un factor importante, para el desarrollo de los microorganismos que descomponen la materia. Tener una humedad excesiva puede controlarse mezclando con materias secas, como hojas o ramas de poda. De la materia por compostar es muy recomendable que su presentación esté en trozos pequeños, que es un concepto conocido como tamaño de partícula (Román, Martínez, & Pantoja, 2013). La utilización de desechos de carnes, lácteos o heces de perros y gatos es poco aconsejable, para evitar la proliferación de fauna no deseada (Amigos de la tierra, 2005).

El procedimiento para elaborar la composta es el siguiente: Se apila la materia, conformando montones de 1.5 m de altura, y se agrega un riego. La humedad y acercamiento de partículas generará calor, durante los primeros cuatro días se deja en reposo, para dar un volteo, que permita la aireación, para dejar ciclos de reposo y volteo de dos días, y después de 14 días, hasta que la materia cambie de color y textura (Eliades, 2009).

La elaboración de composta orgánica puede hacerse directamente en el piso o en recipientes especializados para su elaboración. Utilizar recipientes ayuda a tener espacios ordenados. Si se realiza en piso, al tener la materia directa a la tierra, esta interactúa con microorganismos y además permite la ventilación en donde la materia orgánica es depositada (Amigos de la tierra, 2005). La materia orgánica por utilizar para este proceso puede ser triturada, para acelerar el proceso de descomposición, y se debe cuidar características como humedad, temperatura y proporción Carbono Nitrógeno y realizar periódicamente volteos, para obtener una composta de calidad.

Las principales ventajas y desventajas de este método son (Agro waste, 2014b):

Ventajas:

- Proyecto de baja financiación.
- Gastos por mantenimiento y mano de obra calificada bajos.
- Ahorro por uso de fertilizantes y manejo de desperdicios.
- Disminución de contaminación.
- El color de la composta ayuda a mantener el calor en el suelo aplicado.
- La composta aplicada al suelo mejora la consistencia, regenera la salud del suelo, retiene humedad y por tanto su manejo.

- La fauna que aporta a la tierra genera alimento para las plantas y elimina patógenos, aumentando productividad de cultivos.
- Disminuye la contaminación por sustancias tóxicas.

Desventajas:

- En el compostaje la aireación es parte del proceso que se dificulta
- Es muy necesario tener espacio y orden
- Si el procedimiento no se desarrolla bien, los gases producidos no se recuperan.
- Las lluvias estropean el proceso de compostaje.
- Se necesita que la materia se apile, a diferencia de otras técnicas en donde no es necesario, lo que puede ser un inconveniente en cuestión de utilización de espacios.
- El acopio de la materia debe hacerse día a día.

Vermicomposta

El principio para la obtención de la vermicomposta es el mismo que el de la obtención de composta orgánica, agregando en el proceso la utilización de diferentes especies de lombriz que son domesticadas. Se aprovecha, su labor de consumo de materia orgánica para transformarla en composta, que resulta muy útil como: fertilizante, regulador de crecimiento, estabilizador de suelos y plaguicida. La aplicación de vermicomposta ha mostrado el valor que se agrega modificando propiedades químicas, física y biológicas a suelos pobres en nutrientes (Ferrerías L, 2009) Es uno de los procesos más rápidos y eficientes para restaurar la calidad de nutrientes en los suelos donde se utiliza, así como al crecimiento vegetal y productividad de cultivos.

La tierra es formada de dos diferentes componentes básicos, que son partículas de piedra, como resultado de la erosión por aire o agua. Y la otra parte es material orgánico en descomposición, que puede ser de animales o plantas, y se descomponen en partículas más pequeñas conocidas como humus. El humus mantiene la humedad en la tierra, y alimenta las plantas, además de darle suavidad a la tierra ayudando a las plantas en su crecimiento. Las lombrices cumplen con un deber importante, que es aumentar la cantidad de humus en la tierra. Para la composición de la tierra, las lombrices son esenciales, pues al excavar entre la tierra, ayudan a mantener una consistencia suave. La actividad que hacen permite al oxígeno y al agua llegar hasta lugares donde las plantas los pueden aprovechar, consecuentemente estos elementos

mejoran las condiciones para que se desarrollen bacterias y microorganismos, que ayudan para la salud de la tierra. En su labor sacan tierra de niveles inferiores a niveles superiores y viceversa, y en este movimiento de material, entierran semillas que pueden entonces germinar. (Nancarrow L., 1998).

Ventajas:

- Además de abono para las plantas sirve como biorregulador
- Repara condiciones fisicoquímicas de suelos
- Es uno de los métodos más ágiles para mejorar suelos agrícolas
- Retiene la humedad del agua más tiempo
- El suelo donde se aplica se mantiene mejor oxigenado.
- Se consideran dos productos: la vermicomposta y la lombriz. Adicionalmente puede considerarse un tercer subproducto alternativo, el lixiviado, el cual puede ser utilizado como fertilizante líquido
- El espacio para su implementación puede ser muy reducido (Amigos de la tierra, 2005)
- La lombriz puede ser utilizada como alimento animal (Nancarrow L., 1998)

Desventajas:

- Temperaturas altas de la materia orgánica puede matar las lombrices
- La cantidad de desechos que procesan las lombrices van de acuerdo con la cantidad de lombrices en el lecho
- Composteras comerciales pueden llegar a ser caras
- La lombriz es sensible a la luz
- Nivel de humedad de 80% requerido por las lombrices

1.6.3 Alimentación animal

Una forma de utilizar el desperdicio de alimentos de casas hogar, es recolectarlo casa por casa o de entre la basura, para utilizarlo como alimento para animales. Aunque es un trabajo muy laborioso, es un trabajo que se hace en los rellenos sanitarios, pero es menospreciado, por compararlo con el valor de otros desechos que se pueden rescatar.

Una aplicación es la que se hace con residuos de empresas que pertenecen al área agroalimentaria, y que pueden ser transformados en alimentos preparados para animales. El

objetivo es crear alimentos adecuados para la sanidad de animales y evitar desperdiciar residuos, que se pueden aprovechar para crear alimentos baratos (Agro waste, 2014c).

En seguida se presentan las ventajas y desventajas de alimento peletizado (Agro waste, 2014c).

Ventajas:

- El alimento preparado ocupa menos espacio
- Mayor digestibilidad que originalmente.
- Disminuye el riesgo de enfermedades.
- Mejora el desempeño animal.
- Reduce la alimentación selectiva.
- Mejores características de manejo de materiales.
- Destrucción de organismos perjudiciales.

Desventajas:

- Necesidad de tratamientos previos con el consiguiente coste económico
- Maquinaria especializada.
- El consumo rápido obliga a controlar el abastecimiento.
- Posibilidad de que el animal se ahogue, al consumirlo.

1.6.4 Selección de la técnica a adoptar para el aprovechamiento de residuos orgánicos

De las técnicas mencionadas anteriormente: Biogas, Electricidad, composta, vermicomposta y alimentación animal peletizada, se selecciona una, para la continuación de este trabajo de tesis, mediante la herramienta, matriz de ponderación. La matriz de ponderación utiliza diferentes criterios que, son ponderados para poder realizar una selección objetiva de la técnica que se utilizará para aprovechar los residuos orgánicos.

Los criterios requeridos están en razón de las circunstancias actuales para la realización de este planteamiento, parte importante es que se realiza con el objetivo de evaluación y probable implementación y como ejecutante de este proyecto se cuenta con limitantes, pues no se tiene áreas especiales para el confinamiento de materia orgánica en proceso de descomposición, y este proyecto de análisis se realizará sin apoyos económicos de institución alguna, por lo que es requerido que el monto de inversión sea lo más baja posible, una

característica que conveniente a considerar es que un desecho se puede convertir en un bien, que puede ser apreciado y comercializado en un sector de mercado, se intenta tratar este proceso con sencillez de manera que no se complique con tecnologías muy elaboradas,. En seguida los criterios de selección para la elaboración de la matriz son:

- **Espacio físico requerido.** El lugar donde se va a procesar la materia es importante debido a que no se dispone de mucho espacio, el área que se puede ocupar es como la mayoría de las casas habitación.
- **Inversión.** El tamaño del proceso a realizar afectará directamente a la infraestructura y el costo de diferentes utensilios; por estos motivos se desea que el tamaño de desarrollo e implementación del proyecto se pueda realizar a escala, de manera que la inversión sea lo más baja posible
- **Potencial comercial.** Dentro de los diferentes productos que se pueden crear, se tendrán diferentes niveles de apreciación por utilidad en los mercados locales y como una motivación de implementación, es muy deseable que tenga el mayor potencial comercial posible.
- **Requerimientos Técnicos.** Son los conocimientos, procesos y tecnologías especializados, que son necesarias aplicar en las diferentes técnicas analizadas; y considerando esto, es claro que mientras más requerimientos técnicos se tenga, mayor inversión hay que realizar para su implementación, por lo que es deseable que mientras menos requerimientos técnicos se tengas, es mejor.

Para la determinación del Factor de Ponderación, se asignan factores de ponderación de acuerdo con la conveniencia y circunstancias para su implementación. Se elabora una matriz como se muestra en la Tabla 1 con los Factores de Ponderación asignados y peso de cada uno de los criterios.

Tabla 1: Tabla con ponderaciones a los criterios analizados. Elaboración propia.

Criterio	Factor de Ponderación asignado
Espacio	0.15
Inversión	0.17
Potencial comercial	0.4
Requerimientos Técnicos	0.28
	1

Los pesos que se dan a los criterios son valorados y asignados de acuerdo con la percepción del ejecutante (Ver Tabla 2), con la siguiente escala:

Tabla 2: Escala de valores asignados para el criterio de evaluación analizado. Elaboración propia.

Criterio	Puntaje
Extremadamente favorable	5
Muy favorable	4
Favorable	3
Desfavorable	2
Muy desfavorable	1

Para obtener las puntuaciones parciales se multiplica el Factor de ponderación por los pesos asignados y se multiplica para obtener una calificación de cada una de las técnicas evaluadas, por cada uno de los criterios, al final se suma y se obtiene una puntuación final (ver Tabla 3).

Con esto se observa que los mejores resultados los tienen las técnicas de composta y vermicomposta; la menos favorecida es la técnica de electricidad.

Se decide seleccionar a la técnica de **vermicomposta** por tener la mejor puntuación con 4.66 puntos

Tabla 3: Matriz que analiza técnicas evaluadas con los criterios ponderados. Elaboración propia.

	Espacio F.P.	Inversión F.P.	Potencial Comercial F.P.	Requerimientos Técnicos F.P.	Puntaje Final F.P.
	0.15	0.17	0.40	0.28	
Biogás	2	3	3	3	2.85
	0.3	0.51	1.2	0.84	
Electricidad	1	2	1	2	1.45
	0.15	0.34	0.4	0.56	
Composta	4	4	4	5	4.28
	0.6	0.68	1.6	1.4	
Vermicomposta	5	3	5	5	4.66
	0.75	0.51	2	1.4	
Alimentación Animal	3	2	5	2	3.35
	0.45	0.34	2	0.56	

En vista a lo anteriormente presentado, se ha decidido que la aplicación a utilizar para el aprovechamiento de residuos orgánicos es la de la generación de composta mediante el método de vermicomposta, pues es un método que puede ser realizado a escala, con posibilidades de experimentación viables que permitirán que la propuesta aquí desarrollada pueda ser validada.

1.7 Hipótesis General:

La hipótesis general establecida para este trabajo es la siguiente:

Los desechos orgánicos generados en la ciudad de San Luis Potosí tienen un alto potencial para la generación de vermicomposta. La existencia de un método sistematizado para su producción puede facilitar la generación y aprovechamiento de este producto.

1.8 Objetivos

Con base en todo lo anteriormente planteado, y al potencial identificado en el Marco Teórico de este trabajo, se establece el siguiente **objetivo general**:

Desarrollar una guía metodológica para la generación de vermicomposta con el fin de aprovechar el potencial que tienen los residuos orgánicos generados en la ciudad de San Luis Potosí

Con la finalidad de alcanzar el objetivo general aquí presentado, se establecen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Identificar las variables que intervienen en el proceso de generación de vermicomposta con la finalidad de utilizarlos en el desarrollo de un método sistemático para su producción utilizando residuos domésticos.
2. Desarrollar un método sistemático para la generación de vermicomposta que permita ser reproducido en forma escalable.
3. Realizar pruebas del modelo desarrollado y procedimiento generados en un caso de estudio a manera de validación del método propuesto.

1.9 Justificación

Dado el crecimiento de la población en la ciudad de San Luis Potosí, y el mínimo reciclaje de residuos domésticos orgánicos, por parte de los responsables de la gestión de la basura, se observa la viabilidad de emplear los residuos domésticos orgánicos para la producción de vermicomposta, con la ayuda de métodos determinados para su acertada creación. Los beneficios que se esperan con el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

1. Reciclaje de residuos orgánicos para la generación de la vermicomposta, lo que beneficia al medio ambiente, ya que se disminuiría la cantidad de estos residuos en tiraderos.
2. Generación de un fertilizante natural benéfico para los cultivos, gracias a las propiedades de este producto.
3. Con la sistematización del método se pretende facilitar la forma de generar este producto, haciendo que las personas puedan generar su propia vermicomposta pudiendo tener un mayor impacto ecológico.
4. El aspecto escalable del método permitirá adaptar los métodos a cada necesidad, pudiendo incluso llevarlo a gran escala para que, quién así lo desee, pueda comercializar el producto.

1.10 Alcance

El alcance definido para este trabajo es el siguiente:

- Identificar las variables que participan en el proceso de creación de vermicomposta, con residuos domésticos, analizando el procedimiento de trabajo.
- Se analizarán las variables principales para crear vermicomposta con residuos orgánicos y determinar su relación, para desarrollar el procedimiento idóneo.
- Se elaborará un procedimiento para la elaboración de composta orgánica, utilizando la técnica de vermicomposta mediante el aprovechamiento de residuos domésticos.
- Se harán pruebas de desarrollo de vermicomposta con residuos domésticos.

1.11 Conclusiones de la sección 1

Los desechos orgánicos que se generan en los hogares de la ciudad de San Luis Potosí son residuos que son poco aprovechados, pues al mezclarse con otros tipos de residuos, conforman la basura que es despreciada por un sector de la población, y muy valorada por grupos de la ciudad, que viven de su manejo. Se han revisado diferentes técnicas que tienen el potencial de aprovechamiento y sus posibilidades de aplicación, se ha decidido que la mejor técnica para dar un mejor tratamiento de desechos sólidos urbanos es la técnica de composta con tratamiento por medio de lombrices, llamada vermicomposta.

Capítulo 2:

Propuesta metodológica para producción de vermicomposta con base en la utilización de residuos domésticos

Para esta sección de este proyecto, la metodología plantea mostrar la posibilidad del aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos, mediante la elaboración de un método que quedará estructurado como una guía, con el procedimiento más elemental para transformar los desechos orgánicos en vermicomposta. Se utilizará una metodología de análisis-sintético, para la elaboración de la guía y se elaborará una etapa de experimentación.

2.1 Metodología

El método seleccionado para el desarrollo de este trabajo es el método análisis-sintético, debido a que para el desarrollo de la guía de generación de vermicomposta es necesario analizar, dividir y entender cada uno de los factores que actúan en el proceso y es necesario definir las principales variables que intervienen en él; la síntesis se utilizará para proponer una serie de pasos sistematizados y recomponer todo el proceso, Para comprobar el método creado en esta parte de la metodología, se utilizará una etapa de experimentación que permitirá retroalimentar la guía creada. (Lopera Echavarría, Ramírez Gómez, Zuluaga Aristizábal, & Ortiz Vanegas, 2010).

2.2 Etapas del desarrollo

La metodología de trabajo que se desarrollará está organizada en las etapas siguientes:

1. Análisis del proceso de vermicomposta. Aquí se identifican las etapas que conforman el proceso de generación de vermicomposta con el fin de comprender sus funciones dentro del proceso y explorar la forma en la que se pueden obtener mejores resultados.
2. Identificación de variables. Pretende identificar la importancia de cada uno de los factores que intervienen en el proceso de creación de vermicomposta. Se busca determinar aquellos que tienen mayor importancia y prioridad en el vermicompostaje.
3. Desarrollo del modelo para generación de vermicomposta. Se pretende establecer un proceso cuantitativo de trabajo, determinando las etapas principales, prioridades, y cálculos necesarios de acuerdo con el nivel que se desea trabajar.
4. Diseño del experimento. Se establece una secuencia de trabajo para examinar y evaluar el modelo propuesto.

5. Implementación. Las pruebas experimentales propuestas en el paso anterior se realizan para comprobar su eficiencia.
6. Análisis de resultados. Se evaluará la etapa de experimentación mediante las condiciones diseñadas y se concluirá con posibles mejoras y retroalimentación.

Las etapas propuestas son esquematizadas en la Figura 6, las cuáles serán explicadas en los apartados de páginas siguientes.

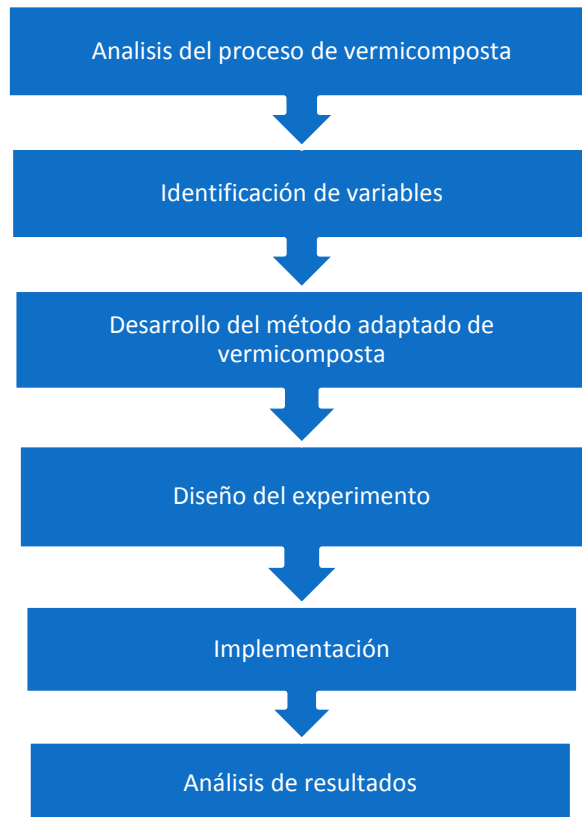


Figura 6: Etapas de desarrollo de metodología propuesta. Elaboración propia.

2.2.1. Análisis del proceso de vermicomposta

Como primera etapa para el desarrollo de la metodología, el proceso de generación de vermicomposta es analizado por partes para la mejor comprensión de la creación de composta con el uso de lombrices.

Originalmente, el proceso de vermicompostaje se entiende que comienza en el momento que se ponen lombrices en la materia orgánica que se va a transformar, y termina hasta que se retiran.

En la práctica, esta división del proceso de vermicompostaje puede tener variaciones dependiendo del tipo de método que acompaña al proceso y del nivel de producción que se realiza. Diferentes autores presentan su propio método para la realización de vermicomposta, (Peña Camacho, 2014) (Schuldt M. , Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2005,) (Romero Figueroa, Sánchez Escudero, Rodríguez Mendoza, & Gutiérrez Castorena, 2016) (Amigos de la tierra, 2005)), sin embargo, entre ellos pueden identificarse 6 etapas comunes, las cuales se presentan en la Figura 7:

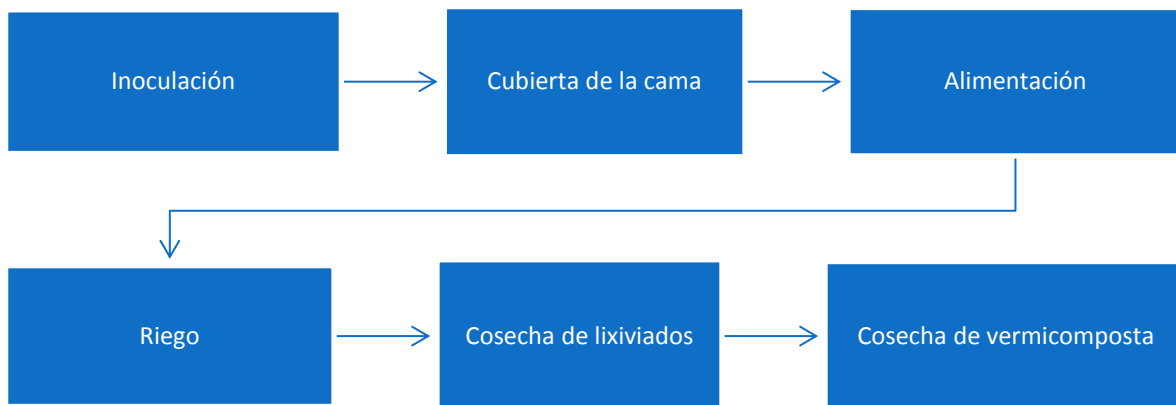


Figura 7: Diagrama actividades de proceso de vermicomposta (Romero Figueroa, Sánchez Escudero, Rodríguez Mendoza, & Gutiérrez Castorena, 2016).

Cada etapa es explicada brevemente a continuación.

- *Inoculación.* Para el proceso de vermicompostaje, la inoculación es el momento inicial. Es el momento en el que se colocan las lombrices en la materia orgánica que se va a tratar. El propósito de esta etapa es preparar el medio ambiente, como el contenedor y la materia con la finalidad de crear un nuevo entorno en donde las lombrices se desarrollarán y vivirán su ciclo de vida.
- *Cubierta de la cama.* Esta etapa se desarrolla con la finalidad de mantener las condiciones adecuadas para el desarrollo de las lombrices. Se emplea igualmente para proteger de depredadores que intenten atacar a las lombrices.
- *Alimentación.* Esta etapa es primordial, ya que las lombrices para vermicompostaje son sumamente delicadas y una alimentación inadecuada puede ocasionar su mortandad. En esta etapa se definen y aplican los cuidados que se deben de tener para la preparación de los alimentos que se proporcionarán a las lombrices, así como la frecuencia y modos que se establecen para su alimentación.

- **Riego.** El nivel de humedad del medio ambiente de las lombrices es otro de los factores importantes para la generación de vermicomposta. En esta etapa se definen las cantidades de agua y la frecuencia de riego necesarias para mantener en buenas condiciones la salud de la lombriz.
- **Cosecha de Lixiviados.** En esta etapa se obtiene el primer producto del proceso. Los líquidos generados al terminar el proceso de vermicomposta se pueden utilizar como fertilizante líquido, el cual puede ser comercializado o puede ser utilizado como agua de riego, buscando regresar los nutrientes a la vermicomposta que se está elaborando.
- **Cosecha de vermicomposta.** Es la separación de la materia transformada de la población de lombrices resultantes, de los pasos anteriormente señalados.

2.2.2. Identificación de variables

El método de vermicomposta es una técnica con condiciones y detalles finos que deben ser controlados ya que, de otra forma, al alterarlas, pueden causar desequilibrios en su desarrollo. El entendimiento de estas condiciones y sus definiciones permiten reconocer de sus relaciones e interacciones. El dimensionar los parámetros permitirá establecer las condiciones necesarias para el correcto desarrollo del proceso, lo que permitirá sistematizarlo.

Especie de la lombriz.

La lombriz es una especie invertebrada, y su apariencia es de forma cilíndrica y alargada, con extremidades algo agudas y segmentadas, la mayor parte de su cuerpo está compuesta por agua. Su anatomía está preparada para succionar alimentos líquidos, pues no tiene dientes para masticar; su respiración es realizada a través de su piel, por lo que es requerida la humedad para mantener su mucosa exterior en buenas condiciones. Una característica importante de las lombrices es que son hermafroditas incompletas, poseen dos sexos, masculino y femenino, pero para procrear requiere de otra lombriz.

Existen varias especies de lombrices que pueden ser utilizadas en el vermicompostaje. Una de las más populares y utilizadas es la *Eisenia Fetida*, debido a que es una especie domesticada con poco instinto por migrar. Se distingue, además, por su apetito y habilidad de

reproducción; se dice que consume de 50 a 100 por ciento de su peso corporal diariamente. Esta especie tiene una cierta tolerancia a la acidez y temperatura. Su población se duplica en 90 días (Nancarrow L., 1998).

La *Eisenia Fetida* es conocida también como lombriz Roja Californiana por su característico color rojo oscuro y anillos a lo largo de su cuerpo. Alcanza longitudes de 10 cm con 3.5 mm de espesor. Requiere una humedad entre 70 y 80% y su rango de temperatura ideal está entre 16 y 25°C. Es sensible a la luz del día, pues los rayos solares dañan su piel. El nivel de acidez pH que tolera esta entre 5 y 8.4 (Amigos de la tierra, 2005).

La lombriz tiene un alto contenido en proteína, y puede ser utilizado para alimento de animales como pollos, peces y lechones (SAGARPA, 2007).

Variables relacionadas con el medio ambiente

La lombriz requiere de condiciones ideales para que sobreviva y se mantenga sana, y con ello se reproduzca. Entre ellas están:

- **Temperatura:** Las lombrices controlan su temperatura corporal, moviéndose de lugar. El rango de temperatura para su supervivencia es de 14 a 27°C Pueden soportar temperaturas fuera de ese rango, se han reportado supervivencia de lombrices en condiciones extremas que pueden ir de 0°C hasta 40°C, pero fuera de las temperaturas recomendadas genera estrés en las lombrices, que generalmente las lleva a su muerte (Schuldt M. , Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2007). En lugares con temperaturas extremas, es recomendable aislar de esas temperaturas, cambiando de lugar a temperaturas templadas o llevando a cabo acciones que permitan controlar la temperatura de su hábitat (Nancarrow L., 1998).
- **Humedad:** Esta variable es muy importante debido a las condiciones de su piel, ya que requieren de la secreción de mucosidad para respirar y para facilitar su movimiento. Es importante mantener la humedad en niveles de entre 70 y 80%. (Román, Martínez, & Pantoja, 2013). Algunos cultivadores dicen que es posible criar lombrices a niveles de 45 a 55% de humedad, pero lo aconsejable es no bajar de 60, o bien mantener bajo supervisión cercana y revisar si las lombrices están activas y reproduciéndose, es buena inversión obtener un medidor de humedad (Nancarrow L., 1998).

- *pH*: El potencial de Hidrogeno es una escala que indica de 0 a 7 el nivel de acidez en un extremo o 7 a 14, alcalinidad en el otro. Las lombrices, toleran un pH entre 5 y 8.4 (Amigos de la tierra, 2005). Es necesario tener cuidado con los desechos que se manejan para la vermicomposta y observar el comportamiento y reacciones que los desechos provocan en las lombrices. Se recomienda realizar inspecciones visuales y no fiarse solamente de medidores de potencial de Hidrogeno, los cuales, si hay error en la lectura o existen alimentos que aún no se hayan integrado bien al proceso, pudieran generar situaciones perjudiciales para el cultivo de estas lombrices. El conocer el comportamiento de ellas y detectar cuando un alimento no es favorable puede aumentar significativamente las probabilidades de éxito en el proceso.
- *Ventilación*: La bio-oxidación es realizada por microorganismos que dependen del oxígeno, por lo que es importante también mantener ventilada la materia para la respiración de las lombrices. Mal olor puede ser indicio de falta de ventilación (Nancarrow L., 1998) .
- *Relación Carbón/Nitrógeno (C/N)*: Es un número que representa la proporción de los elementos Carbón y Nitrógeno, en la evolución de descomposición de contenidos en la materia orgánica que tienen el poder de ser asimilados en forma mineral (Nancarrow L., 1998). Es importante pues si es un número alto representa mayor cantidad de carbono que nitrógeno, con mayor contenido de energía, si el número es bajo representa que la materia tiene mayor proporción de nitrógeno con menor cantidad de energía. Conforme se transforma la materia, la relación C/N disminuye (Flores Serrano, s.f.), por lo que es necesario incrementarla un poco, y realizar el vermicompostaje con valores más convenientes. Su realización se efectúa al momento de mezclar en partes iguales de volumen entre residuos domésticos y residuos cafés (hojarasca) (Peña Camacho, 2014).

El diagrama mostrado en la Figura 8 fue realizado observando las relaciones entre las variables más notables:

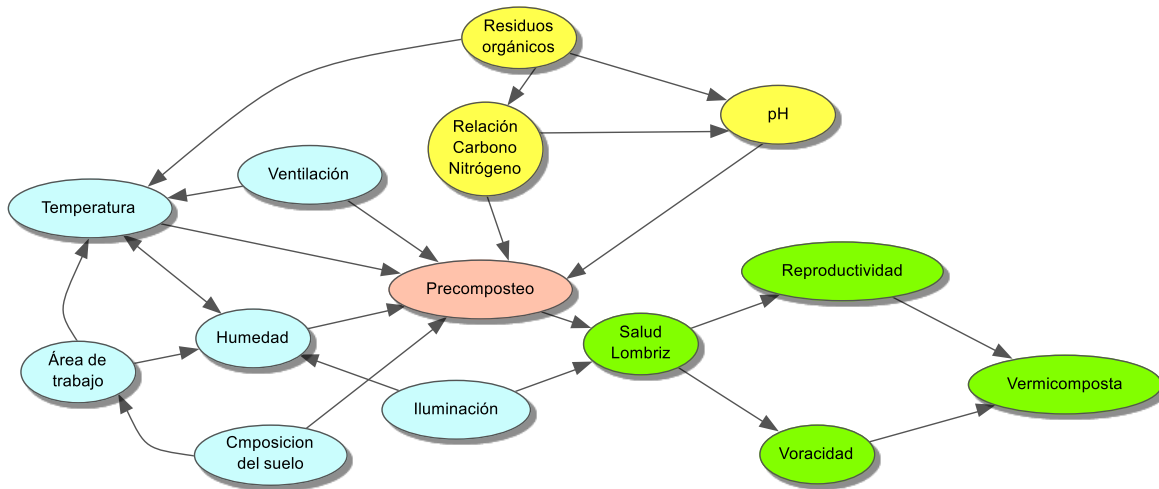


Figura 8: Diagrama de relaciones entre variables que contribuyen al desarrollo de vermicomposta. Elaboración propia.

Las variables se han agrupado en tres diferentes relaciones cercanas entre ellas.

- La primera que se comenta son *variables asociadas a la atmosfera o área* (en cyan). Estas variables son temperatura, ventilación, humedad, iluminación, área de trabajo y composición del suelo. La temperatura, la humedad y ventilación son variables que tienen una interrelación que al variar una, modifica a las otras. Las variables de este grupo tienen diferentes parámetros de interacción que van de acuerdo con la etapa del proceso en que se está trabajando. Por ejemplo, un cambio que la temperatura provocaría un descenso de la humedad y viceversa; si la humedad se incrementa agregando agua en forma de riego, la temperatura desciende.
- El segundo grupo de variables que se observaron están *relacionadas a la materia orgánica que se trabaja* (en amarillo), pues el nivel de acidez-alcalinidad (pH), y relación de C/N, de forma diferente cada uno de ellos puede afectar en la duración de transformación de la materia, así como su calidad, por lo que niveles de proporción son requeridos para su mejor funcionamiento. Un ejemplo de esto se observa en la descomposición de los residuos domésticos, que tienden a ser más ácidos por su contenido de cascaras de frutas y verduras. En el caso de residuos de jardín o podas (secas), contienen mayor proporción de C/N y su nivel de pH tiende a ser alcalinos; con la mezcla de los dos ingredientes mencionados, su contenido tenderá a ser ácido, neutro

o alcalino y una proporción C/N baja o alta de acuerdo con la relación de las cantidades utilizados para la mezcla de residuos.

- El tercer grupo comprende *variables características de la lombriz* (en verde) que se utiliza, voracidad y reproductividad son variables que van de acuerdo con el tipo de lombriz y su buen desempeño, modifica el desarrollo del proceso de transformación.

La Tabla 4 resume los resultados de esta investigación, así como los planteamientos iniciales para la sistematización del proceso.

Como se puede observar en la Tabla 4, las variables que se presentan son, en su mayoría, variables físicas que se pueden atender con actividades de cuidado y atención. Para la preparación de la materia como alimento para la lombriz, es necesario mantener bajo control las variables, pues la calidad de la materia resultante depende de los cuidados mencionados.

Tabla 4. Variables importantes del proceso de vermicomposta, desviaciones y su control. Elaboración propia.

Variables	¿En qué afectan?	¿Cómo puedo controlarlas?	¿Con qué puedo controlarlas?
Tipo de lombriz	Voracidad Reproducción	Seleccionar la variedad apropiada al proyecto	Variables de cuidado para la variedad de lombrices
Tipo de desechos orgánicos	pH Relación C/N	Selección	Desechos alcalinos/ácidos
Área de trabajo	Composición del suelo Lombrices Temperatura Humedad	Preparación	Techo, cubierta agua
Temperatura	Supervivencia de la lombriz Humedad	Realizar pre-composteo	Cubierta agua Materia fresca
Humedad	Salud de la lombriz Temperatura Ventilación	Monitoreo y control mediante riego	Drenaje por desnivel y escurrimiento, hojas secas.
pH	Salud de la lombriz	Monitoreo y control con ingredientes opuestos a estado actual	Hojas secas, cascara de huevo molido, aserrín
Ventilación	Salud de la lombriz Humedad Temperatura	Apilamiento, recomendado Evitar tapar ventilación	Acumulación en pila recomendada, volteo ligero
Relación Carbono/Nitrógeno	pH Velocidad de creación	Selección, cuidar proporción	Aserrín, hojas secas, periódico

2.2.3. Desarrollo del método adaptado de vermicomposta

Como se ha podido notar a todo lo largo de este documento, para el desarrollo de este trabajo, el autor se dio a la tarea de estudiar numerosa información disponible en diversos medios, tanto en documentos científicos, libros, páginas de internet, blogs de organizaciones y personas que cultivan su vermicomposta y se pudo constatar que en general, son métodos domésticos con procesos informales para su creación y se percibe la carencia de un método estandarizado y sistemático para la obtención de esta.

La mayor parte de ellos que explican el proceso de vermicompostaje y proporcionan consejos, aproximaciones y recomendaciones sobre lo que debe y no debe hacerse, para lograr un proceso exitoso de obtención de vermicomposta. Una dificultad muy grande al iniciar el análisis de la información disponible fue, el discernir entre contradicciones que en ocasiones se hacían al presentar los procesos. Por ejemplo, hay autores que no mencionan si es necesario realizar un proceso de separación y tratamiento previo de alimentos (Amigos de la tierra, 2012), (Peña Camacho, 2014) ya que las mismas lombrices serían encargadas de consumir lo que consideraran provechoso para ellas e ignorarían el resto, mientras otros consideraban que era necesario todo un tratamiento previo de los mismos para un mejor aprovechamiento por parte de las lombrices.

Se revisaron manuales de composta, en donde el apartado de vermicomposta trata el tema sobre la preparación de la materia a utilizar; en un caso en el que para el vermicompostaje domestico no se realiza preparación de la materia antes de inocular (Amigos de la tierra, 2005), y otro en el que no se hace mención, específicamente sobre el mismo proceso (FAO, 1980) (Román, Martínez, & Pantoja, 2013) (Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013). En el documento *The worm book* (Nancarrow L., 1998) se habla sobre cuidado a diferentes elementos que conformarán la materia a utilizar, pero el tema de cómo se realiza la preparación de la materia es muy parcialmente explicado.

Buscando identificar cuál era el método correcto, el autor experimentó algunos de los métodos propuestos, generalmente fracasando en diferentes etapas del proceso, pero ajustando el proceso con la información recabada para validar la información teórica y lograr establecer los parámetros de cada variable hasta la obtención del modelo propuesto. Este proceso es detallado a continuación.

La primera constatación en este trabajo fue la falta de 2 etapas claves para asegurar que el desarrollo de este proceso brinde las mejores condiciones a las lombrices utilizadas y proporcionen una materia mejorada para usarla como un fertilizante (Camiletti Morales, 2016).

Las etapas que complementan el proceso de vermicompostaje son: acondicionamiento, y maduración (Ver Figura 9)

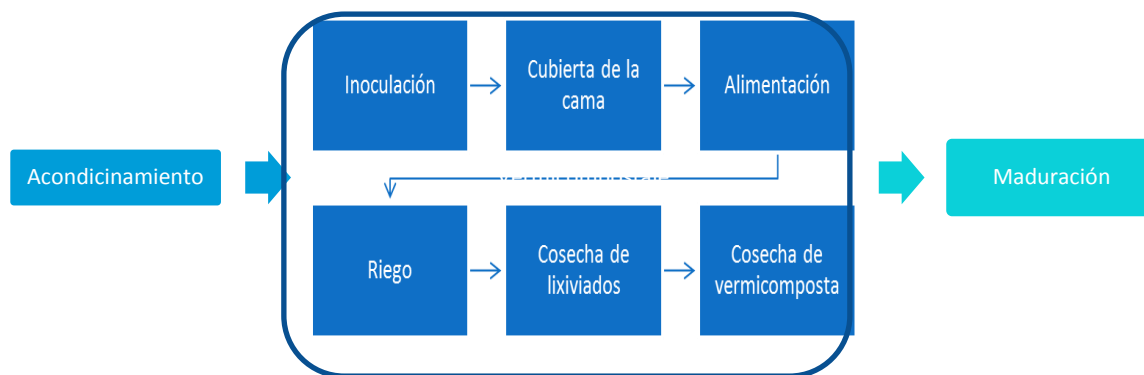


Figura 9: Etapas asociadas al vermicompostaje. Elaboración propia.

Etapas de acondicionamiento: Esta etapa se propone para iniciar la población de microorganismos, que impulsan la transformación de la materia, por lo que se hace previamente para la alimentación de las lombrices, debido a que las lombrices se alimentan de materia parcialmente descompuesta, así como de los microorganismos que prosperan en materias precompostadas (Schuldt M. , Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2007).

El acondicionamiento a menudo es referenciado como una etapa opcional, permite generar un medio ambiente propicio para el buen desarrollo de las lombrices. Esto se logra con la elaboración de materia conocida como precomposta, en donde las variables identificadas anteriormente se estabilizan y resultan en condiciones propicias que ayudan a la salud de la lombriz, a su reproducción y a la generación de una vermicomposta de calidad.

Etapas de maduración: Cuando las lombrices terminan la transformación de los residuos orgánicos, es necesario que la vermicomposta generada aún adquiera estabilidad y llegue a un nivel de humedad menor, Este proceso es el mismo que se utiliza en compostaje, y se le conoce también como humificación. Se le hacen menos riegos y permanece en estado latente, permitiendo a los microorganismos restantes terminar su tarea. (Amigos de la tierra, 2005). Con esta etapa se tendrá una vermicomposta adecuada para ser utilizada en cultivos.

Para el desarrollo del modelo, es necesario cuantificar la materia prima que se requiere para la elaboración de vermicomposta. De igual manera, es necesario mantener las variables que intervienen en el proceso controlados en los valores recomendados, tanto para validar esta información como para lograr la obtención del modelo cuantitativo.

2.2.4. Desarrollo de un método sistemático para la generación de vermicomposta

En esta etapa, se presentan los procesos a seguir en el modelo propuesto para la generación de vermicomposta. El método sistemático presenta el proceso que se debe seguir en cada una de las ocho etapas del proceso. Es importante hacer mención que, de acuerdo con el tamaño del cultivo de vermicomposta, el método puede sufrir modificaciones en algunas actividades para el mejor desarrollo de las etapas el proceso en general. Las modificaciones que pueden ser adaptadas de acuerdo con el tamaño de cultivo serán tratadas en cada punto en particular.

2.2.4.1 Acondicionamiento

La precomposta es un preparado que debe realizarse para la colocación de las lombrices. Es su medio ambiente inicial. Las actividades que se desarrollarán para la elaboración de precomposta son (ver Figura 10):

1. Preparación de área de trabajo
2. Recolección de residuos domésticos
3. Selección de residuos
4. Precompostaje
5. Adquisición de lombriz
6. Evaluación de precomposta

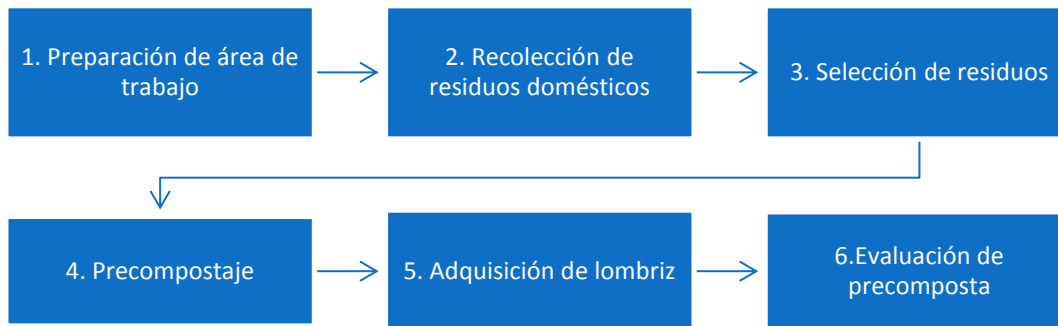


Figura 10: Tareas que se realizan en la actividad de acondicionamiento. Elaboración propia.

El procedimiento para desarrollar cada actividad se presenta a continuación:

1. *Preparación del área de trabajo:* Esta actividad es utilizada para adecuar el espacio físico que servirá de contenedor para realizar el cultivo de vermicomposta. Para disponer de un lugar para lombrices, se recomienda elegir un área libre donde no se impida el tránsito de las personas y pueda estar en un lugar tranquilo. Las condiciones recomendadas son las siguientes (Amigos de la tierra, 2005):

- Área ventilada
- Protección contra rayos de sol directos
- Protección contra lluvia
- Protección contra temperaturas extremas, $7^{\circ}\text{C} < t < 33^{\circ}\text{C}$
- Que tenga acceso a una llave de agua, para humedecer la materia.

El cultivo puede hacerse al aire libre, directamente sobre el suelo o utilizando recipientes conocidos como *composteras*. La selección de un recipiente que se pueda utilizar como vermicompostera es una elección importante, pues es necesario respetar las condiciones recomendadas para ubicar el lugar de la vermicompostera y las adecuaciones que permitan llevar a cabo el proceso de manera correcta. Para esto, se agregan algunas sugerencias para la selección y adecuación de la vermicompostera (SAGARPA, 2007):

- Es importante que el recipiente tenga drenaje, para que salga el exceso de líquido, así como contar con un recolector del líquido generado, pues este lixiviado de vermicomposta es un producto que es igualmente una forma de fertilizante.
- El recipiente debe estar fuera del alcance de hormigas, roedores, sapos, reptiles o pájaros pues estos son depredadores naturales de las lombrices.

- El recipiente debe permitir la ventilación para la salida de gases y entrada de aire.
- Protección a la luz solar mediante un techado que produzca sombra.

La vermicompostera estará dimensionada de acuerdo con la cantidad de materia que se quiere desarrollar, y un recipiente considerado pequeño, desde 30 litros de volumen (por ejemplo, una tina palangana de plástico mediana) se podrá utilizar para compostar la materia orgánica de un hogar. Para desarrollar cantidades importantes, se puede vermicompostar inclusive, sobre tierra, sacrificando la recolección de lixiviados.

2. *Recolección de residuos domésticos:* En esta etapa se requiere de un recipiente con cubierta para ir acumulando los residuos domésticos. Se recomienda la utilización de una cubeta del tipo de las utilizadas para la venta de pinturas, aunque puede optarse por cualquier recipiente comercial con tapa, ya que la cantidad de residuos dependerá de la población de lombrices que se tenga. Más adelante, en la etapa de alimentación se proporcionarán indicadores para cuantificar la cantidad de alimento necesario.

La Tabla 5 muestra la lista de elementos que pueden utilizarse y también los que no son recomendables agregarlos. Con estas indicaciones, se acumula la materia orgánica seleccionada, para continuar con la siguiente actividad.

3. *Selección de residuos.* Es importante indicar que no toda la variedad de desechos orgánicos funciona bien con la técnica de la vermicomposta, que aún y a pesar de las recomendaciones, habrá elementos de la materia recolectada que no serán aptos para el tratamiento con lombrices y se vuelve necesario seleccionar y retirar en lo posible los elementos que afectan la composta generada. Los restos de naranja, y limón, chile por contener sustancias muy ácidas y algunas con contenidos proteicos difíciles de transformar, con el precomposteo; elementos como el cascarón de huevo son mejor asimilados si se muele para añadirlo como polvo (Schuldt, 2006). La Tabla 5 puede ser utilizada como guía general para esta etapa. Los residuos domésticos serán examinados para verificar que solamente aquellos que son aptos para las lombrices permanezcan en el proceso. Los restantes serán retirados y se podrán compostar aparte, sin entrar al procedimiento de vermicompostaje.

Tabla 5 Clasificación de residuos reciclables mediante proceso de vermicomposta y no aceptados (urbana, 2015).

Residuos aceptados	Residuos rechazados	
Residuos de huertas y jardines	Vidrio	Queso
Residuos de frutas y verduras	Plásticos	Mayonesa
Cartón y cartulina sin tinta	Chicles	Lácteos
Restos de pasteles y pan	Papel encerado	Grasas
Restos de café y filtros	Papeles con tintas	Aceites
Cáscaras de huevo	Huesos	Golosinas
Hojas de arboles	Carne	Heces de Perro o gato
Servilletas de cocina	Huevos	Ajo y especias que atraen plagas
Bolsas de té	Pescado	Manteca

4. *Precompostaje.* La materia orgánica seleccionada se pica o trocea (para facilitar la acción de los microorganismos); se acumula y se concentra en la zona designada en el área de trabajo. Con niveles de humedad de 60% se mantiene en maduración y se realizan volteos en periodos de dos veces por semana.

Se preparan lotes de materia semanalmente y se precompostan durante 5 semanas (Acosta-Durán, 2013), utilizando un 30% de hojarasca (hojas o pasto seco) del volumen de Materia Orgánica utilizada (Schuldt M. , Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2007) con el fin de elevar la relación C/N al principio del proceso. Se ponen capas de 10 cm. de hojas primeramente y luego se pone una capa de materia orgánica del mismo espesor, de acuerdo con la cantidad, se acomodan capas de materia, procurando que la parte de arriba sea de hojas secas, para evitar evaporación. Se apila en montón no mayor a 50cm, para evitar la temperatura suba a más de 60° C (Ver Figura 11).

Al inicio, la humedad será alta debida el contenido de agua de los residuos orgánicos, pero avanzado el tiempo, será necesario realizar volteos dos veces por semana haciendo riego, para mantener humedad en un 60%. Con la prueba del puño, al tomar la materia y oprimir, apenas se verá la humedad en la materia, juntándose agua para una gota, pero sin caer.

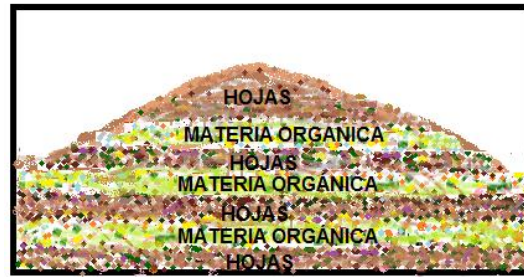


Figura 11: -Materia orgánica preparada para hacer precomposta. Elaboración propia.

5. *Adquisición de lombriz.* Para obtener la variedad de lombriz que se propone utilizar, se recomienda obtenerla de los centros educativos con el perfil de agronomía o agroecología, con una segunda opción esta, la de utilizar los sitios de internet de ventas de artículos y es fácil encontrar vendedores especializados de las especies de lombrices utilizadas en el vermicompostaje. Otra opción, es la de recurrir a instituciones y asociaciones que promuevan la utilización de métodos de reciclaje amigables con el medio ambiente y entre ellos la utilización de lombrices para realizar composta.

6. *Evaluación de precomposta.* Se realiza una prueba de aceptación de la materia precompostada. Se utilizan dos charolas, una más grande que la otra, sobre la charola más grande se coloca la charola más pequeña y se pone la Materia Orgánica precompostada, ahí mismo se ponen 10 lombrices adultas. Se vierte agua sobre la charola más grande para que en caso de que las lombrices deseen escapar, sean retenidas sin poder salir del agua.

De esta forma se puede apreciar si la materia orgánica es aceptada teniendo 10% o menos de escapes o muertes con más de 10%, la prueba se realiza en un período de 48 horas, haciendo revisión en periodos de 12 horas, revisando cada vez, si las lombrices permanecen en la materia a prueba, o si intentan escapar de ella (Schuldt M. , Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2005,).Ver Figura 12.

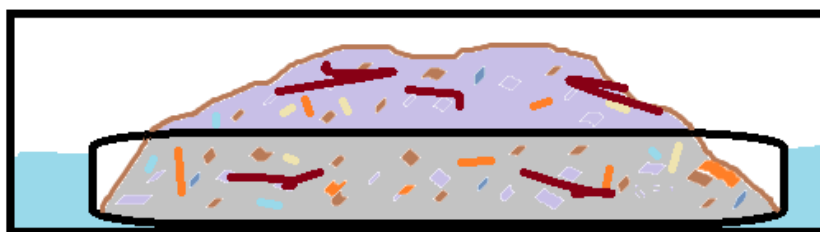


Figura 12: Figura ilustrativa de la prueba de aceptación. Elaboración propia

2.2.4.2 Inoculación y cubierta de la cama

Mediante el cálculo la producción de residuos orgánicos domésticos por semana, se puede determinar el tamaño de la vermicompostera, ya sea elaborada, comercial o bien desarrollando la vermicomposta sobre el piso. La cantidad de lombrices van en proporción a la cantidad de desecho generado.

El inicio del cultivo de lombrices sobre la materia orgánica preparada tiene el objetivo de introducir la especie en el que será el hábitat durante el período de vermicompostaje (Figura 13).

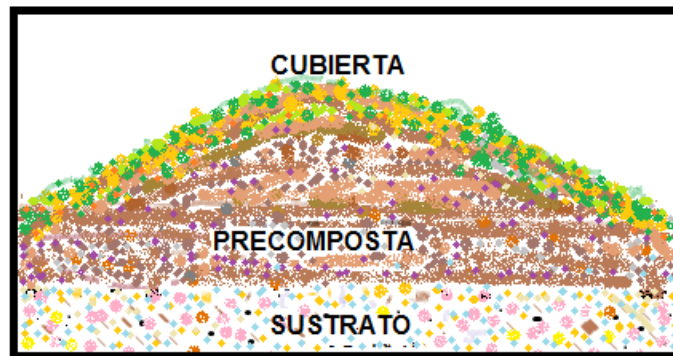


Figura 13: Preparación de lecho o cama. Elaboración propia.

Se prepara un material como sustrato para colocar en la parte baja de la vermicompostera, y puede ser hojas secas de árbol, tiras de papel que no contenga impresiones o cartón sin imprimir o aserrín de madera, se aplica en el fondo de la compostera y se moja de manera que al apretar un puñado del material caigan algunas gotas. Poner una pequeña capa de tierra y otra de precomposta, y poner cascara de huevo molido o polvo de piedra como aditivos, agregar las lombrices y el alimento.

Para considerar la cantidad de materia que se va a proporcionar como alimento, se considerará que las lombrices contadas consumen una cantidad de 1g. por lombriz por día. De esta manera la cantidad de alimentación de consumo diaria se considerará un gramo. Por lo que para mil lombrices se proporcionarán un kilo de alimento diario. La precomposta se acomoda en forma de *lomo de toro*, que es la forma que se obtiene al acomodar en montículo. Se debe tener cuidado de no tocar las paredes, para permitir la oxigenación de la composta.

Se cubre la materia con hojas secas para dar abrigo y mantener humedad. Con un espesor entre 5 y 10 cm, servirá como protección del medio ambiente.

La actividad cubierta de la cama se realiza con el objetivo de proteger contra depredadores y permitir la ventilación, disminuir la evaporación y ayuda también con la disminución de intensidad de rayos del sol.

Las actividades esenciales de esta etapa se mencionan en seguida:

1. Preparación de cama: Las condiciones con las que comienza el cultivo de lombrices se preparan mediante un sustrato y la materia que acompaña al pie de cría. Se agrega materia orgánica preparada y polvo de cascaron de huevo.
2. Es necesario humedecer los elementos incorporados de acuerdo con los niveles recomendados.
3. Evitar que la materia orgánica toque las paredes del contenedor.
4. Introducir pie de cría en materia orgánica preparada y probada en pasos anteriores.
5. Se realiza cubierta con paja u hojas secas, de 5 a 10 cm de espesor.

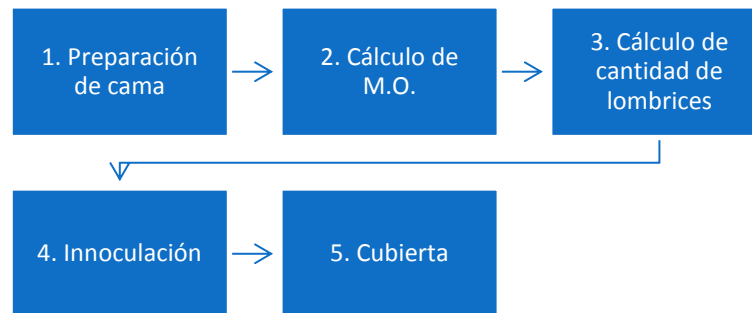


Figura 14: Tareas relacionadas a las actividades de Inoculación y cubierta de cama. Elaboración propia.

2.2.4.3. Alimentación y Riego

La actividad de suministrar el sustento de la nueva camada de lombrices necesita un orden y organización, además va acompañada de varias actividades con las que se determinará el desarrollo del modelo. El riego es la acción de aumentar la humedad agregando agua. El riego puede realizarse con una regadera que no concentre el agua en una sola zona y se procure repartir la humedad de forma pareja.

Se proveerá de alimento inicialmente por dos semanas, calculando de 15 a 20 veces el peso aproximado de la cantidad de lombrices inoculadas, para posteriormente continuar con una alimentación sucesiva, dando semanalmente una cantidad de precomposta. El lomo de la

pila se acomodará de manera que se forme una superficie plana y se integrará 7 cm de la materia que previamente se creó en la etapa de precomposta, por semana.

Es necesario aplicar una rutina de observación de la camada y revisar el comportamiento de las lombrices, ya que, si estas suben a la superficie del lomo, y se mantienen con mucho movimiento, puede deberse a que están hambrientas y buscan más alimento, por lo que será necesario aumentar la cantidad de alimento. O en caso contrario, tener poca actividad y permanecer distantes entre ellas, puede significar que tienen alimento sobrante, por lo que será necesario disminuir la cantidad de alimento para mediar un ritmo de alimentación que será ajustado de acuerdo con el comportamiento de la camada (ver Figura 15).



Figura 15: Tareas relacionadas la etapa de Alimentación y Riego. Elaboración propia.

2.2.4.4. Cosecha de lixiviados

Los lixiviados son los líquidos que escurren de la materia que se está tratando. El líquido lixiviado, conforme se termina el proceso de vermicomposta, se puede utilizar para preparar un té y mediante un proceso distinto, se utiliza como fertilizante líquido, ver Figura 16.

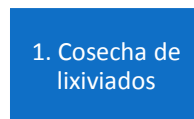


Figura 16: Actividades relacionadas a la etapa de cosecha de lixiviados Elaboración propia.

2.2.4.5. Cosecha de vermicomposta

Una vez que el lecho de lombriz ha evolucionado y ha transcurrido el tiempo definido para la elaboración de la vermicomposta, la vermicompostera estará llena de un material color marrón oscuro. Para asegurar que la cosecha de vermicomposta está lista, es necesario realizar las siguientes pruebas:

1. Realice una inspección visual del cultivo: Con una cuchara jardinera o rastrillo de jardinería, con mucho cuidado remueva el material para asegurarse que hay actividad de lombrices en el cultivo.
2. Inspecciones visualmente el material que se encuentra en la parte superior del lecho. El material debe verse transformado a una masa café, con una apariencia granulosa que va de colores marrones a negros. No debe encontrarse material orgánico sin transformar, es decir, si se encuentran cáscaras de frutas o verduras o pedazos de estos materiales, el cultivo requiere de tiempo adicional para que las lombrices terminen de procesar este material.
3. Perciba el olor que desprende el material. La vermicomposta tiene un olor similar a tierra mojada o recién regada y no debe desprender olores ácidos o desagradables, como los de los desperdicios.

Si esto se ha logrado, ha llegado el momento de cosechar la vermicomposta, para lo cual es necesario separarla de las lombrices. Se presentan dos diferentes métodos:

Método de separación

Para pequeños recipientes: se puede recolectar la vermicomposta, vaciando el material en una charola y separando, con ayuda de una brocha, la materia sin digerir de la vermicomposta, las lombrices tenderán a esconderse; procurar que se vayan a la materia orgánica sin procesar. De esta forma, es posible recoger manualmente la vermicomposta y regresar a la vermicompostera el material orgánico y las lombrices a su lugar.

Método utilizando una criba.

1. Se utiliza en la vermicomposteras pequeñas, donde es fácil cargar y mover la vermicomposta. En este método se criba el material con orificios que pueden ir de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{16}$ de pulgada, separando la materia sin terminar y las lombrices, de la vermicomposta.

De esta manera, el material y las lombrices se regresan a su lecho, y la vermicomposta se recolecta para venta o aplicación en cultivos. Este método causa tensión entre las lombrices, por lo que su recuperación puede tardar algunos días.

2. Utilizando la criba con orificio recomendado, en el método anterior se divide la parte superior del lecho, y se coloca la malla o criba sobre la parte que queda abajo, de esta manera parte de las lombrices se ubicarán en donde está su comida, y dejarán la parte de abajo. Después de un tiempo (pueden ser días), la materia con las lombrices de la parte superior, se reubican en un nuevo lecho. Se vuelve a hacer esto con la materia restante en la parte inferior, dejando materia orgánica como alimento sobre la malla, y de esta manera separar las lombrices de la vermicomposta ya procesada.

La Figura 17 muestra las actividades principales para dar las condiciones de separación de la vermicomposta, de las lombrices habitantes de la materia tratada, con una última actividad de evaluación de la cantidad creada.

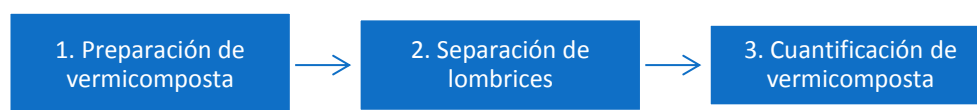


Figura 17: Tareas relacionadas a la actividad de Cosecha de vermicomposta. Elaboración propia.

2.2.4.6. Maduración

La vermicomposta requiere un proceso que la transforma en humus, que son los restos de materia orgánica contenidos en la superficie del suelo, con la presencia de microorganismos que contiene la materia, permanecerá más estable y con esto terminará el proceso de transformación. La vermicomposta puede ser utilizada y aplicarse como fertilizante en sus diferentes proporciones para cada tipo de planta, ver Figura 18.



Figura 18: Tareas relacionadas a la actividad de maduración. Elaboración propia.

2.3 Diseño de un experimento para la evaluación de resultados.

Para poder concretar la guía, es necesario definir indicadores y cantidades que permitan hacer el seguimiento adecuado del método. Con este fin a continuación, se presenta el diseño

del experimento a seguir, el cual consiste esencialmente en seguir paso a paso, los procesos establecidos en cada etapa del método, pero integrando en cada uno de ellos registros de indicadores que permitirán cuantificar los resultados de la propuesta, así como establecer métodos para el monitoreo de las variables que intervienen en el proceso. A continuación, se presentan las actividades que permitirán completar esta actividad.

1-. Acondicionamiento. En esta etapa se agregan las siguientes actividades:

- En el paso 2 de esta etapa (Recolección de residuos domésticos), se realizará una recolección de los residuos domésticos generados por un conjunto de voluntarios, quienes estuvieron de acuerdo en participar en este proyecto. Para la recolección de los residuos, se contó con el apoyo de una cocina económica, así como de 3 familias, a quienes se les dieron las instrucciones para realizar la recolección y conservación de los residuos. Se estableció una frecuencia para la recolección de una vez a la semana, con familiares (viernes) y de 5 veces a la semana con la cocina económica (lunes a viernes). Se utiliza información de la tabla 5, para solicitar los residuos sin contaminantes. Esta lista orienta en lo que se le solicita a la gente que seleccione y permita realizar un trabajo de recolección más efectivamente.
- Para el paso de la selección de residuos, se evita la concentración elevada de elementos como la cascara de naranja, de limón, cebolla, ajo y cascaron de huevo, se controla y tolera mediante un criterio para realizar esta operación de selección, y consiste en que, visualmente se escogen los elementos dañinos que pueden estar en forma porcentual de 10% o menos, si son más, son sacados del lote donde se están acumulando y no son tomados en cuenta para precompostar, por ejemplo, si se encuentran cascara de naranja y representan la quinta parte de la bolsa, se sacan y se deja solo el 10%, desechando las que sobran, para el lote que se está formando. De igual manera, los cascarones de huevo se apartan y se muelen, para regresarlos con la materia, procurando que, si existiera más de un kilo de cascarón, se admita poner solo 200g, para evitar el exceso, por lote preparado.
- Se procederá a la preparación de la precomposta de acuerdo con los métodos estudiados. Se realizarán pruebas de calidad de precomposta después de 5 semanas y se irán realizando la prueba olfativa y consistencia con la inspección visual, semanalmente

hasta determinar el tiempo adecuado necesario para obtener precomposta de calidad. La materia es acumulada para registrar el lote, con fecha del fin de semana de recolección, de esta manera se comienza a contar el tiempo de precomposteo. Para evitar quedarse sin materia preparada, se recomienda elaborar diferentes lotes, de manera sucesiva, cada lote va retardado una semana en su fecha de iniciación de preparación. Se realiza esta forma de trabajo, para fijar una fecha de inicio de elaboración de la precomposta y tener una materia más o menos uniforme en cuanto a madurez.

- Como rutina de monitoreo para cada una de las variables se miden sus parámetros y se registran. Para medir la temperatura utilizando un termómetro de aguja, posicionando en los círculos de acuerdo con la Figura 19 para abarcar el área donde se posiciona la materia. Con cuatro mediciones, se determina el promedio de temperatura y se toma el registro de la información.
- De manera similar, la variable de humedad se mide con el higrómetro medidor de humedad, tomando lecturas en 3 diferentes zonas, registrando las lecturas; una opción de medir la humedad es utilizar el método del puño.
- Otra de las variables importantes a mantener bajo control, es el pH de la materia orgánica que se maneja. Con un pH metro se mide colocando el medidor en 3 diferentes lugares, tratando que los sitios sean representativos de toda la materia, En el caso de utilizar papel indicador, se toman muestras de materia y se diluyen en un recipiente con agua, y en el líquido resultante se pone la tira de papel indicador por unos segundos, para en seguida observar las coloraciones y compararlas con los colores en la escala.
- El montículo de materia se divide en cuatro sectores, como en un sistema de coordenadas, y se toman las mediciones de las variables en los círculos, de cada uno de los cuatro sectores.

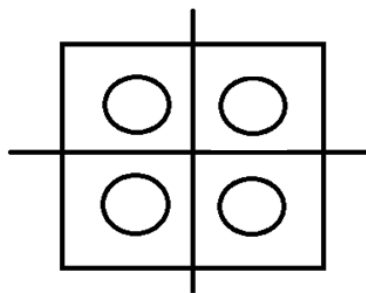


Figura 19: Ubicación de círculos recomendadas para hacer el muestreo. Elaboración propia

Se registran los datos en una tabla como se propone con el formato de la Tabla 6

Tabla 6 Monitoreo de variables y control. Elaboración propia

Formato para monitoreo y control de variables			
Proyecto: _____			
Experimento: _____		Fecha de inicio: _____	
Responsable: _____			
Fecha	Temperatura (°C)	pH	Humedad (en %)

- Durante el monitoreo, la desviación de variables es importante realizar actividades de reacción que permitan continuar con el proceso de precomposteo.

En la actividad de adquisición de lombriz, en este desarrollo del experimento, se realiza un conteo de lombrices que no resulta práctico para el manejo de un criadero lombrices. Sin embargo, para revisar el desarrollo de la población manejada en el experimento, se cuenta cada una de las lombrices consideradas.

Como resultado de esta etapa se determinará:

- a. Formalización del proceso de preparación de precomposta en cuanto a cantidades de materia prima, procedimiento de elaboración y cantidad resultante de precomposta en base a la cantidad de materia prima utilizada.
 - b. Establecimiento de un método de verificación de la calidad de precomposta.
 - c. Establecimiento de un procedimiento para verificar la aceptación de la precomposta, por parte de las lombrices antes de pasar a la etapa de inoculación.
- Para la actividad de adquisición de las lombrices, se menciona que la mayoría de los vendedores de lombrices entregan un paquete, con el que se establece que el contenido de lombrices puede comprender un rango posible de cantidad de lombrices, por el motivo de que es poco práctico contar la cantidad. A pesar de lo mencionado, para este experimento, se realiza un conteo de la cantidad de lombrices adquiridas.

2. Actividades que complementan la etapa de inoculación y preparación de cama, en la etapa experimental, se mencionan en seguida:

- Calcular la cantidad de materia orgánica que se dará como primer alimento al pie de cría. Para hacer este cálculo, se utiliza la cantidad de lombrices adquiridas y se les asigna una cantidad de alimento de 1 g, por lombriz contada
- Calcular la cantidad de lombrices utilizadas como pie de cría. De acuerdo con la cantidad de materia orgánica que se desea manejar, es necesario determinar la cantidad de lombrices que se pueden mantener. En el caso de camas de 2m² es aconsejable permanecer en poblaciones de 80000 lombrices, y se llegan a estas cantidades si la cama ha sido tratada adecuadamente por 6 meses. Para este experimento la cantidad que se desea manejar es de una cantidad aproximada de 1000 lombrices. Se espera que en 3 meses la población se duplique.

Esta etapa tiene como resultados los siguientes elementos:

- a. Establecimiento de las condiciones iniciales para el espacio denominado cama o lecho.
- b. Establecimiento de la cantidad de lombrices utilizadas como pie de cría
- c. Establecimiento de la cantidad inicial de alimento para las lombrices.

3. Alimentación y riego.

- Alimentar la camada semanalmente y registrar la cantidad suministrada en volumen y peso.
- Se monitorean las variables de temperatura, pH y humedad, registrando los valores. Se realizan acciones en caso de desviaciones en parámetros registrados.
- Determinar la cantidad de agua suministrada como riego.

Como resultados de esta etapa se tienen los siguientes:

- a. Formalización de proceso de alimentación y de las cantidades proporcionadas.
- b. Formalización de acciones contra desviaciones de variables.

4. Como actividad que se agrega en la etapa de cosecha de lixiviados, se realiza una reintroducción en la materia tratada para aprovechar como agua que mantiene la humedad y ahorrar agua.

El resultado de esta actividad:

- a. Formalización de procedimiento para realizar actividad de cosecha de lixiviados.
5. Actividades que se agregan en la prueba experimental a la etapa de cosecha de vermicomposta están las siguientes:
- Se realizarán actividades preparatorias para la cosecha. Anticipando 15 días a la cosecha, se suspende alimentación, y 7 días antes se deja de hacer riegos de agua.
 - Se realizará cosecha, separando lombrices de composta, utilizando separación por criba, que es un método mencionado anteriormente.
 - Realizar tamizado de la vermicomposta, para separar la materia aún no terminada.
 - La vermicomposta creada será pesada con la finalidad de definir la cantidad desarrollada, se realiza registro de la información.
 - Se realiza conteo de lombrices cuantificando por separado, las cantidades de huevecillos, juveniles, semi-adultos y adultos.

Como resultado de esta etapa se determinará:

- a. Formalización del proceso de preparación de vermicomposta en cuanto a cantidades de materia prima, procedimiento de alimentación y cantidad resultante de vermicomposta en base a la cantidad de materia prima utilizada.
- b. Establecimiento de un método de verificación de la calidad de vermicomposta.

En la etapa de maduración se realizan actividades que permiten a la vermicomposta llegar tener los nutrientes necesarios para las plantas, sin tener residuos de materia orgánica sin transformar y llegar a ser humus. Se aplica un riego cada 4 días y volteo. Se mantendrá la humedad cercana a un 40%, y se puede verificar mediante un medidor de humedad o con la prueba del puño, en el cual la humedad se siente en la mano, pero no se alcanzará a crear una gota de escurrimiento.

Con el resultado de esta etapa se dará:

- a. Establecimiento de un período como etapa de maduración
- b. Formalización de actividades a realizar en esta etapa.

Como una etapa adicional a las etapas de la metodología, en este apartado se agrega una etapa experimental que nos puede señalar la aptitud de fertilizar la tierra.

Prueba de fertilidad

Como una prueba de aptitudes de la vermicomposta preparada, se determina la respuesta de crecimiento por plantas germinadas.

1. *Selección del tipo de cultivo.* Para seleccionar el tipo de cultivo a realizar, y evaluar la efectividad de la vermicomposta generada, se consideraron los siguientes aspectos:
 - a) *Espacio para cultivo:* Se considera como un factor de selección el espacio a utilizar por el tipo de cultivo. Entre el cultivo de frijol y jitomate se comparan las necesidades de espacio. En el caso de frijol de vara (tutor) se considera necesario el uso de macetas que tengan entre 8-9 pulgadas (20 a 23 cm) de profundo y de 6-7 pulgadas (15-18cm) para las variedades de arbusto (Milly, 2018). Con respecto a plantas de jitomate una maceta de 16 a 19 L en variedades pequeñas (Rosique, 2015). Tomando únicamente este criterio, la selección *favorece* a el cultivo de frijol.
 - b) *Tiempo de desarrollo:* El tiempo para el desarrollo de la planta de frijol se considera de 60 a 90 días desde plantado (mariajesusl, Como Cultivar Poroto o Judía o Frijol, 2012) . Con respecto al jitomate su tiempo de cosecha desde su plantación es de 3 meses (mariajesusl, Como Cultivar Tomates, 2010). Puesto que los tiempos son prácticamente similares, bajo este criterio ambos cultivos son una buena opción.
 - c) *Características del producto:* Para este criterio se buscan las características que sean más fáciles de evaluar, por ejemplo, la diferencia de tamaño, la coloración del producto y cantidad de producto por planta. En el caso del frijol, se considera muy difícil evaluar las diferencias físicas entre diferentes semillas de frijol. Algunas técnicas presentan, para evaluar estos cultivos, el número de frijoles por vaina, el número de vainas por planta y para realizar un comparativo se propone el cultivo de un área significativa para poder identificar las diferencias entre cultivos (Chávez Espinoza, 2018). En el caso del jitomate esta actividad es más sencilla, ya que es más fácilmente identificable diferencias de tamaño, coloración del producto, número de productos por planta, etc. (Roblero Ramírez, 2014) Considerando las

limitaciones de espacio y la cantidad de vermicomposta obtenida, en este criterio el producto ganador fue el jitomate. en su variedad Saladet por ofrecer esas características.

2. Cultivo de semillas: realizar un cultivo de semillas de jitomate en maceta, con tierra no tratada para que no se afecte el proceso. Se realizó un cultivo de 10 semillas, considerando que algunas posiblemente no germinarán o no se desarrollarán correctamente. Las semillas se colocan en una maceta, con tierra para macetas no tratada a 0.5cm de la superficie (Cuenca Sánchez, 2018).
3. Del cultivo anterior, se seleccionan 6 germinados de jitomate, aquellas que presentaron las mejores características visuales del cultivo inicial.
 - a) Se preparan 2 pruebas, para realizarlas en un jardín doméstico y directamente en el suelo. Se seleccionan dos espacios, a un metro de distancia el uno del otro y en el primero (planta testigo, sin uso de vermicomposta) se plantan 3 de los germinados. En el segundo espacio, la siembra se realiza aflojando con azadón la tierra, se vacía una muestra de la vermicomposta obtenida (600 grs de producto, 200 grs por cada planta) (Gómez Rosales, Espinosa García, González Orozco, & Salazar Gutierrez, 2007).
4. A las plántulas se les darán los mismos cuidados para su desarrollo, aplicando ciclos de riego cada tres días y cuidando que las condiciones ambientales sean las mismas para los 6 ejemplares.

Como resultado de esta prueba se obtendrá:

- Aptitud como estímulo al desarrollo de plantas, diferenciando tamaño, peso, follaje, tamaño del fruto, coloración y características físicas

En la Figura 20, se muestra las tareas a realizar para la prueba de fertilidad, comenzando con la selección de la planta con la que se realizará la prueba, la iniciación de crecimiento de las plantas, su selección y preparación para agruparlas para diferenciar su desarrollo y cuidados planteados para evidenciar sus diferencias.

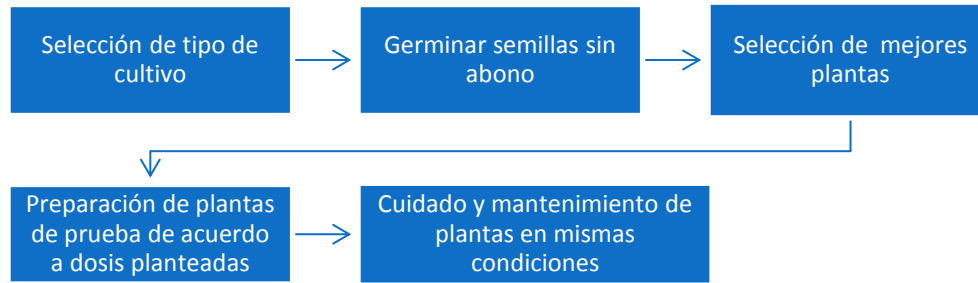


Figura 20: Tareas para realizar prueba de fertilidad. Elaboración propia.

2.4 Conclusiones de la sección 2

Se ha establecido un procedimiento adecuado con el que se va a trabajar, considerando la documentación que se obtuvo. Se repasaron los métodos tradicionales de creación de vermicomposta y se desarrolló un método que integra lo que, a juicio del autor, es lo mejor de ellos. El método plantea una secuencia de pasos en donde se integran dos pasos adicionales a los métodos tradicionales que, se espera, generen mejores resultados. Para continuar con este documento, se pone a prueba con una etapa de experimentación que es presentada en la sección siguiente.

Capítulo 3.

Validación del método de vermicomposta propuesto

En esta etapa se desarrollan cada una de las actividades planteadas, para el diseño del experimento.

Para la realización del proceso de vermicomposta es necesario mencionar partes que son básicas para su mejor funcionamiento.

3.1. Acondicionamiento

Como primera etapa para la implementación se realizan las actividades acordadas, comenzando con la preparación del área de trabajo, que requiere a su vez de condiciones adecuadas para su elaboración.

3.1.1. Área de trabajo

El experimento se realiza en un terreno baldío ubicado en privada de Pedro Moreno 520, int.12. Barrio de Santiago. Con acceso por el lado Norte y colindancias con vecinos particulares por los otros lados, ver Figura 21.

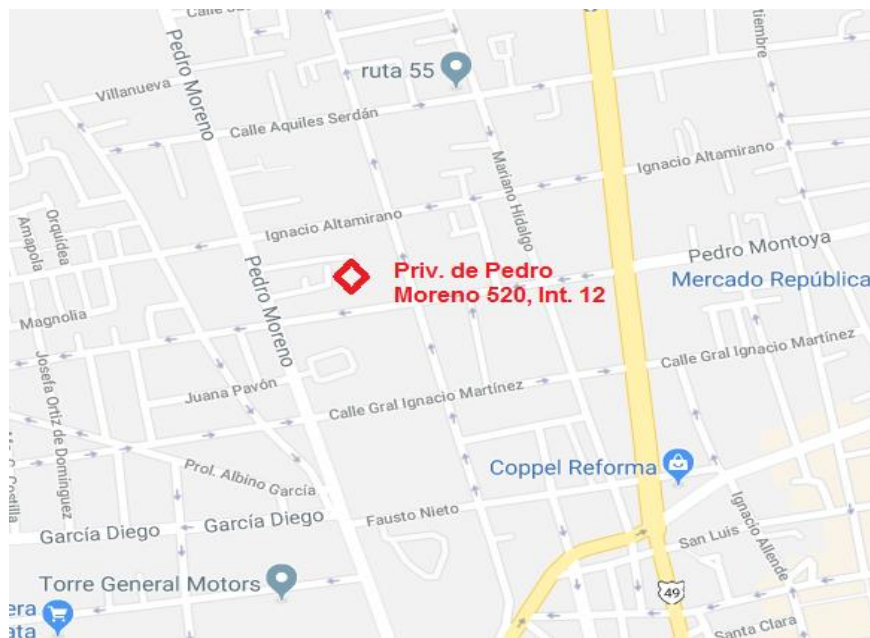


Figura 21: Zona con ubicación de área de trabajo. Elaborado con Google maps.

Para el desarrollo de esta actividad se requirió del material que se presenta en la Tabla

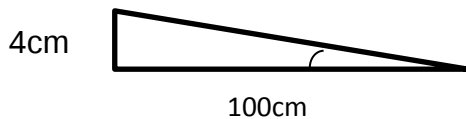
7.

Tabla 7: Material utilizado en el desarrollo del experimento. Elaboración propia.

Material por utilizar		
3x6 m plástico para invernadero		1 azadón
4.6 m piedra cantera		1 medidor de temperatura
4 postes 2m.		1 papel medidor de pH, 1-14
1 pala cuadrada		1 medidor de humedad, 1-10
2 tinas de 19 L		1 bote 1L
1 bascula de gancho con capacidad de 50 kg		1 pala manual
1 par de guantes de látex gruesos		4m alambre galvanizado.

El área implementada de trabajo requirió un ligero acomodo de la tierra con azadón, para nivelar y luego crear un declive, con el cual se obliga el escurrimiento de líquido lixiviado.

Pendiente utilizada



- $\text{Pendiente} = 4\text{cm} / 100\text{cm} * 100 = 4\%$

El valor de la pendiente para el área utilizada es de 4% (3°), que se considera suficiente para mantener la fluidez de los lixiviados que se escurren.

Para el desarrollo del espacio físico de la prueba experimental, se requiere atender requisitos básicos, como son protección de la luz directa del sol y fenómenos meteorológicos, que van directamente relacionados con los factores de humedad, temperatura y ventilación. Para atender el factor humedad, se realiza un contenedor con plástico de alta densidad bordeando con piedra cantera (1mx1mx0.2m), encontrada en el área de trabajo, para hacer la recolecta de lixiviados.

Para este experimento, se le da prioridad a la generación de vermicomposta, por lo que los lixiviados son reutilizados para el riego de la vermicomposta. Para el caso de los factores temperatura y humedad, se utilizan cuatro tubos para cerca de malla, y alambre galvanizado, y se utiliza del mismo tipo de plástico, para hacer una cubierta, ver Figura 22.

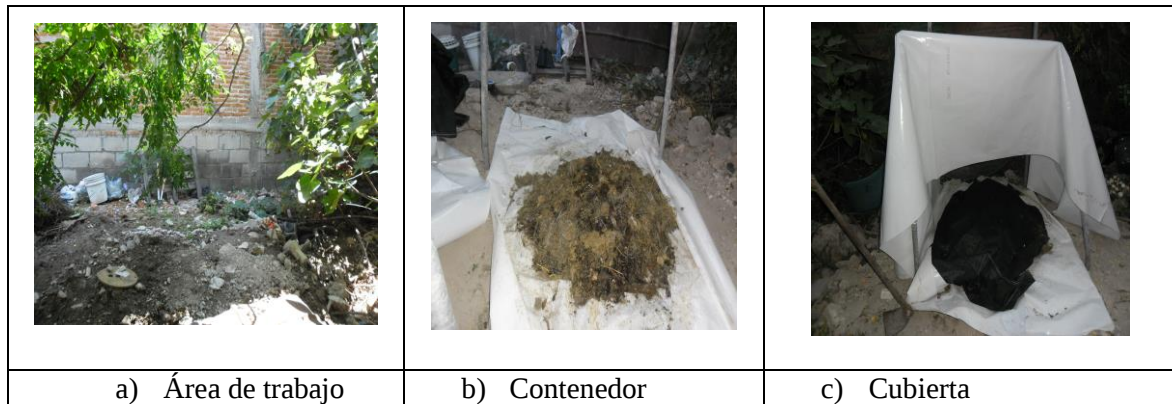


Figura 22: Área de trabajo y contenedor empleado. Elaboración propia.

3.1.2. Recolección de residuos orgánicos

Para adquirir la materia prima para trabajar, es necesario estar de acuerdo con personas que colaboran recolectando en sus casas, los desechos de cocina orgánicos. Y se acordó con tres familias, que realizaran la selección y recolección de los desechos. También se obtuvo ayuda de una cocina económica. Se utilizó la Tabla 5 como guía para seleccionar los elementos que son aceptados por las lombrices.

3.1.3. Selección

Para asegurar que la clasificación de los residuos sea adecuada, se realiza nuevamente un proceso de selección, que asegure que no existen elementos contaminantes o bien que tiendan a llevar a extremos de potencial de Hidrógeno y dañen la salud de las lombrices que se tratan, ver Figura 23.



Figura 23: Selección y separación de residuos orgánicos. Elaboración propia.

La materia orgánica seleccionada es picada con la finalidad de acelerar el proceso de transformación, ver Figura 24.



Figura 24: Picado y reducción de residuos orgánicos. Elaboración propia.

Se programa un proceso de recolección de residuos orgánicos semanal, durante 5 semanas (5 lotes), con la finalidad de tener materia prima para utilizar de acuerdo con el diseño del experimento. Con el fin de cuantificar el proceso de recolección de materia prima ver Tabla 8, las cantidades de materia orgánica recolectada se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 8 Registro de residuos domésticos en proceso. Elaboración propia.

Lote	SEMANAS EN PROCESO																
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	

	Precomposta
	Inoculación
	Alimentación

Para realizar control de la materia orgánica recolectada, se propone el formato mostrado en las Tablas 9, 10, 11, 12 y 13. En las tablas 9, 10, 11, 12 y 13 las fuentes de generación de residuos son identificadas con F1, F2 y F3 para las Familias 1, 2 y 3 y con CE para la cocina económica, que fueron familias que participaron recolectando y donando sus residuos generados en sus cocinas.

Tabla 9: Información de cantidades recolectadas para creación de primer lote. Elaboración propia.

Lote 1				
Fuente	Residuos Orgánicos Recolectados (Kg)	Residuos no deseados (Kg)	Residuos aprovechables (Kg)	Cantidad de precomposta obtenida (Kg)
F1	10.55	0.8	9.75	
F2	11.8	1.6	10.2	
F3	9	1.6	7.4	
CE	20.6	1.1	19.5	
Totales	51.95	5.1	46.85	25

El lote se inició con 46.85 kg de materia orgánica seleccionada y 6 kg de hojas secas.

Tabla 10 Información de cantidades de materia recolectada para creación de Lote 2. Elaboración propia.

Lote 2				
Fuente	Residuos Orgánicos Recolectados (Kg)	Residuos no deseados (Kg)	Residuos aprovechables (Kg)	Cantidad de precomposta obtenida (Kg)
F1	2.9	0.1	2.8	
F2	3.4	0.3	3.1	
F3	3.1	0.25	2.85	
CE	35.8	1.55	34.25	
	45.2	2.2	43	24.6

El lote 2 se inició con 43 k de materia orgánica seleccionada y 5.4 k de hojas secas.

Tabla 11 Información de materia recolectada para creación de Lote 3. Elaboración propia.

Lote 3				
Fuente	Residuos Orgánicos Recolectados (Kg)	Residuos no deseados (Kg)	Residuos aprovechables (Kg)	Cantidad de precomposta obtenida (Kg)
F1	2.2	0.2	2.0	
F2	3.1	0.15	2.95	
F3	1.9	0.05	1.85	
CE	39.3	0.8	38.5	
	46.5	1.2	45.3	26.8

El lote 3 se inició con 45.3 k de materia orgánica seleccionada y 5.8k de hojas secas.

Tabla 12 Información de materia recolectada para creación de Lote 4. Elaboración propia.

Lote 4				
Fuente	Residuos Orgánicos Recolectados (Kg)	Residuos no deseados (Kg)	Residuos aprovechables (Kg)	Cantidad de precomposta obtenida (Kg)
F1	1.8	0.05	1.75	
F2	2.6	0.2	2.4	
F3	2.2	0.15	2.05	
CE	46.8	1.6	45.2	
	53.4	2	51.4	27.8

El lote 4 se inició con 51.4 k de materia orgánica seleccionada y 6.6 k de hojas secas.

Tabla 13 Información de materia recolectada para creación de Lote 5. Elaboración propia.

Lote 5				
Fuente	Residuos Orgánicos Recolectados (Kg)	Residuos no deseados (Kg)	Residuos aprovechables (Kg)	Cantidad de precomposta obtenida (Kg)
F1	2.1	0.2	1.9	
F2	2.9	0.4	2.5	
F3	2.2	0.3	1.9	
CE	43.5	1.8	41.7	
	50.7	2.7	48	26.5

El lote se inició con 48 k de materia orgánica seleccionada y 6k de hojas secas.

Tabla 14 Proporción de la reducción de la materia al transformarse en precomposta. Elaboración propia.

	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Residuos aprovechables (Kg)	46.85	43	45.3	51.4	48
Precomposta obtenida (Kg)	25	24.6	26.8	27.8	26.5
Porcentaje de materia obtenida	$25/46.85 \times 100 = 53.3\%$	$24.6/43 \times 100 = 57.2\%$	$26.8/45.3 \times 100 = 59.3\%$	$27.7/51.4 \times 100 = 54\%$	$26.5/48 \times 100 = 55.2\%$

Como puede observarse en la Tabla 14, los residuos orgánicos, al transformarse en una precomposta, disminuyen su cantidad entre un 53% y 60%.

Los montos recolectados variaron entre 2 y 4 kg por familia y de 20 a 40 Kg para la cocina económica en ambos casos por semana.

La cantidad de residuos orgánicos calculada en 20 kg está de acuerdo con la cantidad de lombrices contenidas, en el paquete de lombrices adquirido. Generalmente los paquetes de lombrices que se venden para iniciar una camada de vermicomposta, se ofrecen en rangos de posibles cantidades de lombriz. Para este experimento, la cantidad de lombrices utilizadas se determinó contando cada una de las lombrices contenidas en el paquete, considerando inclusive a los huevecillos como una lombriz. Contando lombrices adultas, subadultas, juveniles y cocones (huevecillos), se hace una aproximación de 1500 lombrices adultas, las cuales consumen aproximadamente 1g de materia, como alimento en condiciones ideales, es decir de 10.5 Kg por semana. Se considera que la materia tiene una disminución del 60% del peso durante el precompostaje, de acuerdo a la Tabla 14, y con esta disminución de la materia que se prepara como alimento para las lombrices, se calcula que la materia requerida semanalmente es de 17.5 Kg por semana, por lo que las cantidades recolectadas semanalmente, cubren la necesidad de alimento para crear la vermicomposta.

De esta información se obtienen cantidades que se toman como una estimación y ayudan a trabajar con el presente experimento, pero no se pueden tomar como información de referencia estándar, pues las muestras no son representativas de los lotes creados.

3.1.4. Precompostaje

Como se mencionó anteriormente, este subproceso se realiza para evitar que las lombrices tengan contacto con la materia prima, cuando se inicia la etapa de descomposición ya que en esta etapa se eleva la temperatura, pudiendo alcanzar hasta 60°C, por lo que se podrían quemar a las lombrices o extinguir las por acidez o alcalinidad extremas. De acuerdo con la información recolectada en el capítulo 2, se determinan las acciones que se seguirán con la finalidad de controlar las variables que intervienen en el proceso. Estas acciones se presentan en la Tabla 15

Tabla 15: Acciones a realizar en variables monitoreadas durante etapa de precomposta. Elaboración propia.

Etapa de precomposteo			
VARIABLE	Parámetros	Acciones por realizar en caso de desvíos	Imagen
C/N	25/1-35/1	Para llegar a estos niveles se agrega, 30% a 70% de residuos secos, como hojas o yerbas, pastos de color café, con respecto a residuos domésticos. Iniciado el proceso de precompostaje, se agrega una capa de hojas secas (10cm) como protección	
pH	5-8.4	Si se tiene una acidez extrema, se recomienda continuar con los volteos y agregar cascarón de huevo molido. Si se trata de una alcalinidad extrema, se agregan las cascaras de limón y naranja que se han apartado en la rutina cotidiana.	
Humedad	50-70%	Si le falta humedad, solo es necesario rociar agua cuando se realice volteo. Y si, por el contrario, hay exceso de agua, solo hay que drenar el agua con un declive que se junte en el riego, evitando que se encharque el agua. O agregando hojas secas.	
Temperatura	>55° c	Evitar acumular cúmulos mayores de 50 cm, hacer volteo y riego para mantener humedad en nivel recomendado. La temperatura se puede dejar elevar a niveles mayores, cuando la materia se considera con riesgo sanitario.	

En la Tabla 16 se muestran las variables monitoreadas de la materia precompostada. También se muestra la etapa en la que se hace la inoculación para continuar compostando la

materia. Se les agregaron hojas de poda, secas en una proporción de 50% en relación con el volumen de materia orgánica utilizada. El inicio del precompostaje es del día 16 de octubre 2018.

Tabla 16: Monitoreo y control de variables. Elaboración propia.

Formato para monitoreo y control de variables												
Proyecto: <u>Guía metodológica</u> Experimento: <u>I</u> Fecha de inicio: <u>16 de octubre de 2018</u> Responsable: <u>José Abel Blanco Silva</u>												
Fecha	Temperatura (°C)				pH				Humedad (%)			
13-sep-18	52.6	52.1	49.8	53	6.5	7	7	7	100	100	100	100
17-sep-18	51.8	52	50	50.7	7	6.5	7	7	100	100	100	100
18-sep-18	52.2	47	50.1	49	7	7	7	7	100	100	100	100
20-sep-18	47.8	49	48.7	47.5	6.5	7	7	7	100	100	100	100
24-sep-18	45.8	44.5	43	44.5	7	6.5	6.5	7	90	100	100	100
25-sep-18	35.3	37.8	33.2	37	7	7	6.5	6.5	100	100	100	100
26-sep-18	33.9	32	30.9	30	7	7	7	7	100	100	100	90
29-sep-18	30.2	28	31.1	29.4	7	7	6.5	7	100	90	100	100
01-oct-18	27.3	26.8	27.4	25.9	7	7	7	7	100	100	100	100
03-oct-18	26.1	27	23.7	25.3	7	7	7	7	90	100	90	100
05-oct-18	23.7	22.1	25.2	23.4	7	7	7	7	100	100	100	100
06-oct-18	22.4	23	24.1	22.5	8	7	7	7	100	100	100	100
10-oct-18	23.1	22.1	24.1	22.5	7	7	7.5	7	100	100	100	100
13-oct-18	21.9	22.8	21.5	22.3	7	7	7	7	100	100	100	100
16-oct-18	22.1	23	22.7	22.5	7	7	7	7	100	100	100	100

Las etapas de precompostaje se continúan trabajando en paralelo con la etapa de alimentación y riego, con el objetivo de mantener alimento suficiente para las lombrices.

Nota importante sobre esta actividad: En los meses de julio, agosto y septiembre del 2018 se inició la actividad con un primer lote de materia. Este primer lote de precomposteo se inició directamente con el proceso de inoculación descrito, de acuerdo con la metodología inicialmente establecida. Al hacer los primeros monitoreos, se observó que no se detectaba presencia de lombrices en el cultivo, por lo que se revisó más a detalle y se confirmó que las lombrices “habían desaparecido”. Haciendo una investigación más profunda sobre lo que pudo haber pasado, se determinó que la causa de la desaparición era que la precomposta no era apta para las condiciones de desarrollo de las lombrices, a pesar de que las pruebas de las variables mostraban valores normales, por lo que las lombrices seguramente huyeron. (Schuldt M. ,

Christiansen, Scatturice, & Mayo, 2005,) A partir de esto, se decidió agregar una etapa de prueba de aceptación para las lombrices, que es la que se integró a la metodología propuesta y se documentó en el capítulo 2 de este documento.

3.1.5. Prueba de aceptación

La prueba de aceptación consistió en colocar algunas lombrices en una muestra de la precomposta elaborada. Se observó el comportamiento de las lombrices en un día y se notó que las lombrices no rechazaron la materia prima obtenida, y que se adaptaron rápidamente a su nuevo entorno, por lo que se consideró esta etapa superada y se procedió con el siguiente paso, ver Figura 25,



Figura 25: Prueba de aceptación de lombrices. Elaboración propia.

3.2. Inoculación

Como fecha de inicio se comienza la cama el día 16//10/2018, Las lombrices utilizadas fueron compradas por internet, en un sitio especializado en ventas; se obtuvo un paquete, anunciado como, más de 4 kilos de lombriz con sustrato. Se utiliza la cantidad aproximada de 1500 lombrices en el lote de lombriz. La inoculación se considera como una inseminación de baja densidad, que permite aumentar la población, aún en condiciones desfavorables de temperatura (Schuldt, Estrucplan online, 2008).

Las cantidades de edades en las lombrices obtenidas se obtuvieron clasificándolas en huevecillos, juveniles, subadultos y adultos. Los huevecillos se identifican por ser un pequeño bolso, de tamaño menor que una lenteja, con una forma oval; La lombriz juvenil se distingue por su pequeño tamaño, hasta casi 1.5cm y de color blanco o rojo pálido; para el caso de las subadultas se diferencian de las adultas, por un anillo que tienen llamado clitelo. Siguiendo

estas indicaciones, las lombrices fueron contadas, dando los siguientes resultados: 35 huevecillos, 998 juveniles, 471 subadultos y 42 adultos, dando un total de 1511 lombrices de la especie *Eisenia Fetida*.

3.3. Cubierta de la cama

Como una cubierta a la materia que se encuentra en proceso de vermicompostaje, se le agrega una capa sobre la superficie de hojas secas, las cuales ayudan a mantener la humedad, disminuye la posibilidad de ataques por parte de depredadores y en tiempo de frío abrigan los montículos contenidos.

3.4. Alimentación y riego

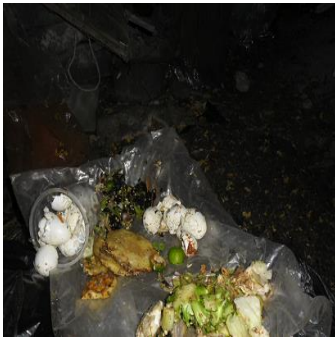
La cantidad de lombrices a utilizar es de 1511 lombrices en una materia inicial de 20 L (siembra de baja densidad), pero que permite el acercamiento entre lombrices y asegura encuentros para su reproducción. El alimento se provee semanalmente. y nivel de humedad se sube a un 90% y se monitorea utilizando la prueba del puño o medidor de humedad.

1. Para las subsecuentes etapas de alimentación se da alimento cada 7 días, elevando el nivel superficial de la cama en un 1 cm por día, es decir que se dan 7 cm de alimento a la semana, hasta asegurar la supervivencia de la lombriz y llegar al período de 3 meses propuesto. Las cantidades de precomposta utilizada como alimento se registran tanto en peso como volumen, para efecto de realizar fórmula deseada.
2. Se permite su crecimiento en volumen, evitando sobrepasar la altura de 40cm en el metro cuadrado trabajado.
3. Se utiliza la rutina de alimentación y supervisión de pH, humedad y temperatura, durante un período de 3 meses. Se registran las cantidades de agua añadidas, para considerar promedio dentro de fórmula en desarrollo.
4. Como rutina de monitoreo para cada una de las variables, se mide la temperatura utilizando el termómetro de aguja, posicionando en distintos puntos escogidos al azar para abarcar el área donde se deposita la materia. Con tres mediciones, se determina el promedio de temperatura y se toma el registro de la información.
5. De manera similar, la variable de humedad se mide con el higrómetro medidor de humedad, tomando lecturas en 3 diferentes zonas, registrando las lecturas; una opción es utilizar el método del puño. De acuerdo con las mediciones tomadas, se retira la

cubierta de hojas y se aplica agua utilizando una regadera, para que el agua se disperse lo mayor posible en la superficie de la vermicomposta, para en seguida, volver a colocar la cubierta de la cama.

6. Otra de las variables importantes que se mantiene bajo control, es el pH de la materia orgánica que se maneja. Con un pH metro se mide colocando el medidor en 3 diferentes lugares, tratando que los sitios sean representativos de toda la materia, En el caso de utilizar papel indicador, se toman muestras de materia y se diluyen en un recipiente con agua, y en el líquido se ponen la tira de papel indicador por unos segundos, para en seguida observar las coloraciones y compararlas con los colores en la escala.
7. En caso de suceder una desviación de las variables monitoreadas, las acciones a realizar son las que se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17: Acciones a realizar en desviación de parámetros de control. Elaboración propia.

Etapa de vermicompostaje			
VARIABLE	Parámetros	Acciones por realizar en caso de desvíos	Imagen
C/N	25/1-35/1	Estos parámetros son controlables solo en la etapa de precompostaje, pues conforme se avanza en el proceso general, esta relación va decayendo, para llegar a niveles bajos (10 a 15), del humus.	
pH	5-8.4	Para la acidez extrema, se aconseja dar un ligero volteo y agregar cascarón de huevo molido. Para la alcalinidad es recomendable agregar materia orgánica fresca, con poco tiempo de precompostaje, en capas de 5 cm, con hojas secas como aislante.	
Humedad	70-80%	La humedad en vermicompostaje es más alta que en su preparación. Una falta de humedad se corrige rociando agua superficialmente y un exceso drenando no permitiendo encharcamiento.	

Temperatura	16-25°C	En descensos de temperatura fuera del rango indicado, se recomienda apilar en alturas mayores a 50cm y cubrir con 10 cm de hojas secas. En el caso contrario de elevaciones de temperatura, se baja con agua haciendo riego superficial	
-------------	---------	---	---

En la Tabla 18 de frecuencia de alimentación, se muestran las cantidades de vermicomposta aplicadas en diferentes semanas, las cantidades que fueron marcadas con asterisco fueron semanas en las que se observó poco movimiento en la superficie de la materia, por lo que se redujo la cantidad de alimentación, esperando ver un incremento en la velocidad de alimentación.

Tabla 18: Tabla de frecuencia de alimentación y cantidades de precomposta utilizada. Elaboración propia.

Fecha	Acción	Cantidad en Kg	Cantidad en L
16-Oct-18	Inoculación	9.5	20
3-nov-18	Alimentación 1	10.7	22.7
10-nov-18	Alimentación 2	6	12.7
17-nov-18	Alimentación 3	7.5	15.4
24-nov-18	Alimentación 4	2.5	5.5*
01-dic-18	Alimentación 5	2.5	5.8*
8-dic-18	Alimentación 6	2.0	5.1*
15-dic-18	Alimentación 7	2.0	4.9*
TOTALES		42.7	92.1

3.5. Cosecha de lixiviados y vermicomposta

Los lixiviados para esta prueba, se utilizan como riego en la vermicompostera, de manera que, dentro de la rutina de riego, se reintroducen en la materia en proceso para mantener la humedad, ver Figura 26.



Figura 26: Lixiviados de composta. Elaboración propia.

Para preparar la separación de la vermicomposta de las lombrices tratadas, quince días antes de cumplirse la fecha de término del proceso de vermicomposta, será el día 22 de diciembre, día desde el que se omite dar alimento a las lombrices en cuidado, y 7 días después se dejará de hacer riegos, para poner un poco de estrés sobre la cama de lombrices.

Entonces se separarán, cumplidos 90 días de tratamiento, utilizando uno de los métodos de separación con criba, utilizando materia orgánica de alimento, para forzar a las hambrientas lombrices a subir sobre la criba con alimento. Esta operación se realizará varias veces para lograr que la mayoría de las lombrices emigren y se logre rescatar la mayor cantidad de lombrices.

Se registrará la cantidad de composta creada en peso, por ser la manera más popular para realizar la entrega de ella y de lombrices, haciendo el conteo por edades y el peso de las lombrices. Se cribará la vermicomposta, para separar elementos que no han completado su transformación.

Se evaluará la cantidad de lombrices colectadas por peso y por conteo de su población.

Se cosechará la vermicomposta creada, y se evalúa la cantidad creada, con la materia orgánica que se utilizó.

3.6 Maduración

La vermicomposta creada se dispone en un proceso de maduración, en el cual básicamente permanece en reposo y se le aplican riegos con agua, ver Figura 27, considerando

que la humedad permanezca en un nivel de 40%. El periodo mínimo que se considerará será de unos 30 días y un máximo de 90 días.



Figura 27: Aplicación de riego. Elaboración propia.

3.7 Conclusiones de la sección 3

Las etapas que se propusieron para el desarrollo de este trabajo fueron implementadas siguiendo las recomendaciones y técnicas planteadas en el capítulo 2. La planeación de actividades y el monitoreo de las variables identificadas permitió un desarrollo relativamente satisfactorio, sin embargo, debido a las fechas en que se inició la experimentación, se tuvieron contratiempos en lo referente a la multiplicación de la población. En el capítulo final se presentará la descripción de estos problemas y el análisis de los resultados obtenidos.

Capítulo 4.

Discusión de resultados

En este capítulo se presentan los resultados de este trabajo, organizando los resultados de acuerdo con los indicadores establecidos en el capítulo 2. Los indicadores definidos fueron:

- Cantidad de vermicomposta obtenida.
- Cantidad de lombrices obtenidas.
- Calidad de la vermicomposta obtenida
 - Inspección visual
 - Análisis químicos
 - Prueba de fertilidad

4.1 Definición de indicadores

En esta etapa se tratará la información que se obtenga del experimento realizado. La información que se obtendrá será la siguiente:

- La cantidad se calculará, como se definió en el capítulo 2, realizando la separación de vermicomposta y pesando el producto obtenido.
- El indicador 2 (cantidad de lombrices obtenidas), se realizará mediante conteo de lombrices y huevecillos.
- Para la evaluación de calidad de vermicomposta, la evaluación se hará:
 - De forma visual, utilizándola en la aplicación en plantas de tomate, principalmente se hará apreciando el tamaño de las plantas, su coloración y su estado físico, así como también de sus frutos. Como evidencia, se generarán imágenes fotográficas, con las que se podrá verificar el desarrollo de esa actividad.
 - Se evaluará también la calidad de la vermicomposta, mediante la comparación de características obtenidas mediante análisis químico y especificaciones fisicoquímicas de humus de lombriz en base a los requerimientos de la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI 2008 (Secretaría de Economía, 2008), la cual se presenta en la Figura 19.

Tabla 19 Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz (vermicomposta) de la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI 2008. Elaboración propia.

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	De 20% a 50% (base seca)
Relación C/N	≤ 20
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda) ²
pH	de 5.5 a 8.5
Conductividad eléctrica⁴	$\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$
Capacidad de intercambio Catiónico	$> 40 \text{ cmol kg}^{-1}$
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL^{-1}
Materiales adicionados	Ausente

4.2 Cantidad de vermicomposta generada

La vermicomposta que fue generada se pasó por una criba con orificio de 3/16 y se hizo la separación de materia. Para esta actividad, la materia que logró pasar por la criba es considerada como el producto final (vermicomposta cribada) y el material que no haya podido pasar es regresado a que su proceso de transformación continúe, ya que para este material el proceso no está aún completo y requiere de mayor tiempo para su completa transformación (materia separada). En total se obtuvieron 13 kg de materia, los cuales se separaron como sigue, los resultados obtenidos fueron:

Tabla 20: Cantidades de materia obtenida. Elaboración propia.

Vermicomposta cribada (kg)	Materia separada (Kg)
7	6

Lo que significa que se obtuvieron 7 kg de vermicomposta ya lista para utilizar (16.39%). Podría considerarse que la eficiencia del proceso es baja, sin embargo, hay que considerar que con 42.7 kg de materia que iban a desechos o tiraderos y que fueron recuperados para obtener un producto que puede ser comercializable o aprovechable para cultivos, lo que ya tiene un impacto positivo y que es uno de los objetivos que se buscan en este trabajo.

La materia que fue separada, no se considera apta aún, se regresa al proceso de vermicomposta para continuar en tratamiento con lombrices.

4.2.1 Población de lombrices

En esta etapa se analizan los resultados de las lombrices obtenidas después del proceso. En la Tabla 21 puede verse, en la primera columna (inoculación), la cantidad de lombrices que fueron colocadas en el experimento, así como su distribución por “edades”. Al término del experimento, las lombrices fueron retiradas de la materia obtenida y fueron separadas y contadas, también agrupadas por edades, dando como resultado la población que se muestra en la columna “cosecha”.

Tabla 21: Comparativo de cantidades de lombrices resultantes. Elaboración propia.

	Inoculación	Cosecha
Adultos	42	436
Sub adultos	471	468
Juveniles	998	028
Huevecillos	35	462
Total, lombrices	1546	1394

Aquí se puede observar que la población inicial, no se incrementó durante el experimento, incluso disminuyó. La cantidad de adultos aumentó, así como también la cantidad de huevecillos desarrollados, lo que muestra una población que pasó de una etapa de muchos juveniles a adultos. Este resultado no se comportó como se esperaba, ya que, lo que se esperaba al término de este experimento era un aumento significativo de lombrices debido a su ciclo reproductivo y al comportamiento de esta especie.

El comportamiento de un proceso de vermicomposaje depende de condiciones climáticas, de su manejo, y de la calidad del alimento proporcionado y se considera que la población se duplica en dos o tres meses (vermican, 2011) (Agroflor Lombricultura, Mejía P., 2005), En las figuras Figura 28 y Figura 29, se muestran graficas que permiten ver los comportamientos ideal y experimentado.

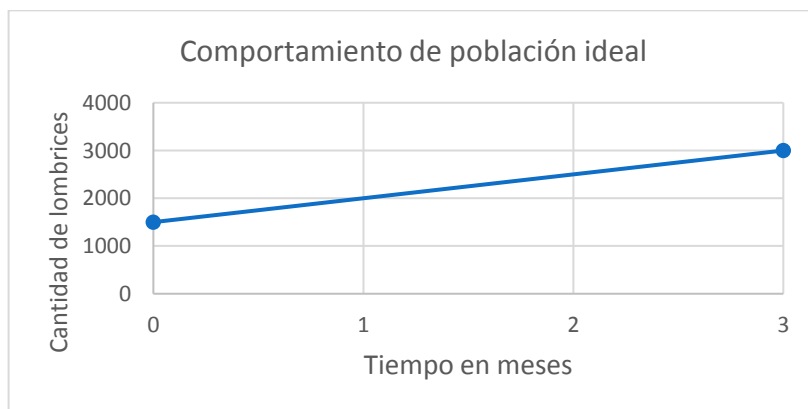


Figura 28: Gráfica de comportamiento mínimo de población en buenas condiciones de manejo. Elaboración propia,

Sin embargo, en la gráfica del comportamiento experimentado (Figura 30), la cantidad de la población disminuyó, por lo que la tendencia de línea tiene una pendiente negativa levemente hacia la baja.

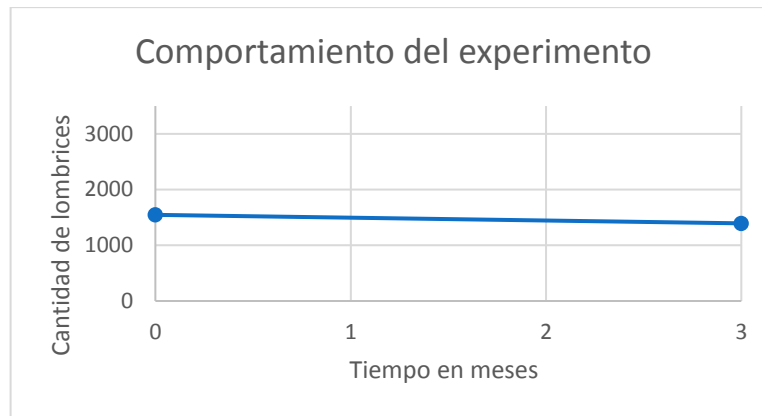


Figura 29: Grafica con los resultados obtenidos en la población experimentada. Elaboración propia.

El riesgo de obtener este resultado ya se había considerado debido a que, inicialmente por las condiciones de temperatura que se requerían para el correcto desarrollo de las lombrices, se había considerado iniciar el experimento en el mes de julio para trabajar en condiciones de temperatura favorables, superiores a los 16°C. Sin embargo, como también se mencionó anteriormente, la primera prueba que se inició en este mes no funcionó y se tuvo que reiniciar el experimento, realizando la nueva cosecha en el mes de noviembre y terminando en enero del año 2019. Revisando los valores máximos y mínimos de temperatura que se presentaron durante la temporada del experimento, es posible observar que se alcanzaron temperaturas inferiores a 12°C, muy por debajo de la temperatura mínima requerida para el correcto desarrollo del ciclo reproductivo de las lombrices, ver Figura 30.

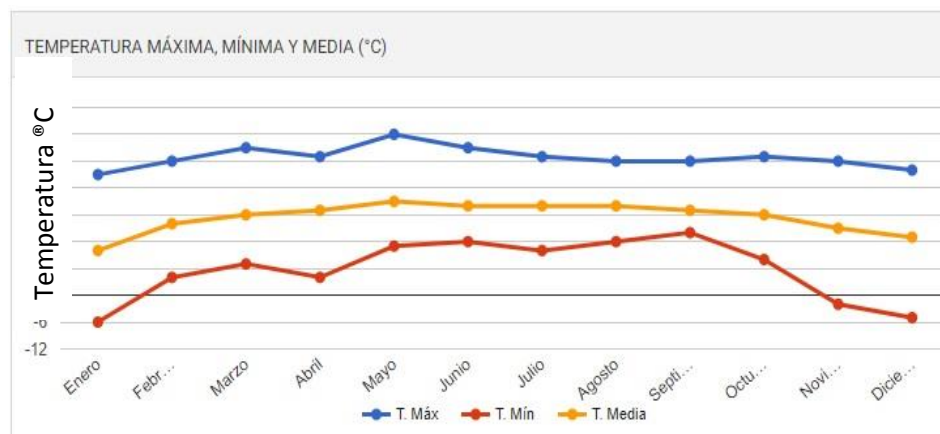


Figura 30: Temperatura observada en la zona de San Luis Potosí durante periodo ene-dic 2018. Autor Meteored.mx

En el experimento, para hacer frente a estas bajas temperaturas, se procedió a cubrir con pasto y hojas secas el cultivo, como se recomienda en

Tabla 15. La cubierta permitió que las lombrices no murieran, pero la baja temperatura, provoca que las lombrices entren en un estado de inactividad o de latencia (Peña Camacho, 2014). Esto se intuye también debido al gran número de huevecillos o huevecillos que se obtuvieron en el resultado.

Por cuestiones de tiempo no fue posible lanzar un tercer experimento, pero a pesar de no haber obtenido los resultados deseados, se considera que los resultados son positivos porque, a pesar de haber trabajado en condiciones adversas, la población se mantuvo en un 90.16% de la población inicial y se prevé que con los cambios de temperatura esta población aumente.

4.3 Calidad de la vermicomposta generada

Para identificar la calidad de la materia elaborada, se utilizan varias pruebas que permiten valorizar y apreciar su adecuado desarrollo. Aunque las pruebas no son exhaustivas, si proporcionan evidencia suficiente para su utilización.

4.3.1 Inspección visual

El color presentado por la vermicomposta generada es color marrón. La vermicomposta ya fue previamente cribada con una malla de 3/16 de pulgada. El tamaño del grano de esta vermicomposta es considerado fino por ser menor a 5mm y haberse cribado (Hernández A., Guerrero L., Mármol C., Barcenás B., & Salas, 2008) y su apariencia física es de un grano que no es uniforme, quedan todavía compuestos orgánicos, similar a tierra para macetas. Cuando la materia se encuentra baja de humedad, se percibe que es polvosa, y depende mucho de la cantidad de humedad que tiene, y con humedad se puede ver que la materia forma un lodo esponjoso y se puede percibir un ligero olor a tierra mojada.



Figura 31 Vermicomposta madura preparada para utilizarse. Elaboración propia.

4.3.2 Análisis químico

Se utilizaron los servicios de un laboratorio particular y se solicitó el análisis de la vermicomposta obtenida en experimento de prueba. Los resultados proporcionados por el laboratorio se muestran en la Figura 32. Para emplear los resultados del análisis químico realizado por el laboratorio particular, se comparan parámetros de acuerdo con la norma *nmx-ff-109-scfi-2008 2008* (Secretaría de Economía, 2008) mostrados en la Tabla 19 la cual define parámetros de calidad para la creación de humus de lombriz, también conocido como lombricomposta y vermicomposta

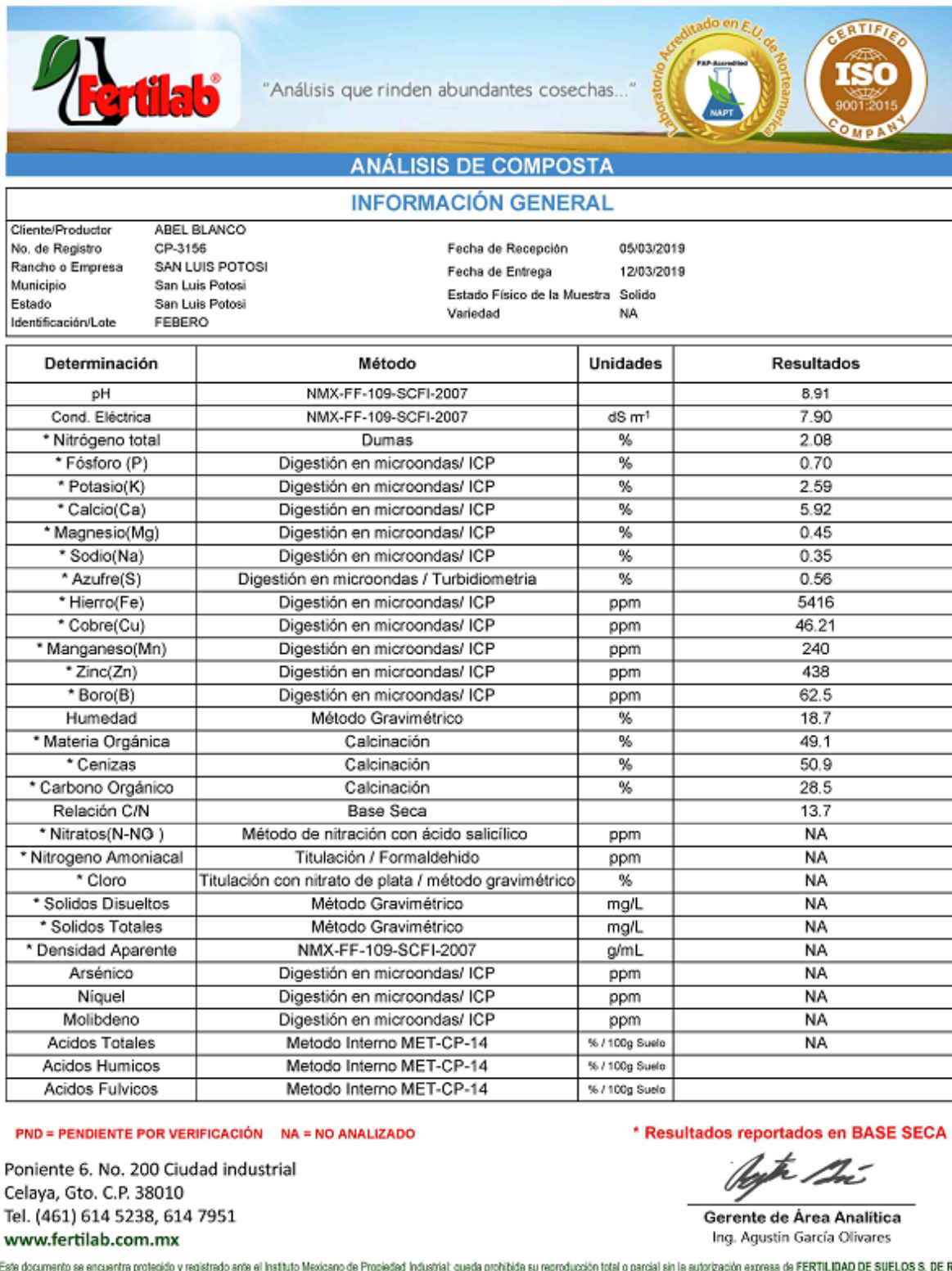


Figura 32 Análisis realizado por Laboratorio Fertilab.

En la Tabla 22 se indican los valores de referencia asignados por la norma *ff-109-scfi-2008* y en la columna de resultados, se presentan los parámetros obtenidos en análisis químico realizado por el laboratorio particular, los resultados son resaltados en color verde que cumplen con la norma y en rojo los que no lo hacen.

Tabla 22 Comparativo de especificaciones físicas del humus de lombriz (vermicomposta) (Secretaría de Economía, 2008)

Determinación	Método	Referencia	Unidades	Resultados
*Nitrógeno total	Dumas	1 a 4	%	2.08
*Materia orgánica	Calcinación	20 a 50	%	49.1
Relación C/N	Base Seca	< 20		13.7
Humedad	Método Gravimétrico	20 a 40	%	18.7
pH	NMX-FF-109-SCFI-2007	5.5 a 8.5		8.91
Cond. Eléctrica	NMX-FF-109-SCFI-2007	≤ 4	dS m ⁻¹	7.90

Para la especificación de pH se encontró un nivel de 8.91 quedando fuera del rango que esta entre 5.5 y 8.5. En el caso del parámetro de conductividad eléctrica el valor obtenido fue de 7.9 dS m⁻¹ quedando fuera del límite de ≤ 4 dS m⁻¹. Se consideran estos resultados como retroalimentación, sobre todo en el caso del nivel de pH, probablemente la preparación de la materia inicialmente, se le limitó en exceso los residuos ácidos de cascaras de limón y naranja.

Respecto a la humedad, una razón para que en este punto no cumpliera pudiera deberse a que el laboratorio no se encuentra en la ciudad de San Luis Potosí y cuando el producto fue enviado, se debió preparar con un nivel de humedad más adecuado para el viaje.

Los resultados de las especificaciones minerales (Ca, K, P, Mg, Carbono orgánico, Figura 32) se encuentran dentro de valores típicos de la vermicomposta, aunque tratándose de productos naturales, los resultados pueden ser variar en razón de los elementos presentes en cada preparación que se realice (Emison).

Las especificaciones de Capacidad de intercambio catiónico y Densidad aparente sobre materia seca, no se realizaron debido a que el laboratorio contratado no realiza esas pruebas. Estos parámetros muestran las características de la materia orgánica, para retener y liberar nutrientes, así como la conservación de la humedad. Las especificaciones de Capacidad de intercambio catiónico y Densidad aparente, aunque no hayan sido analizados, se confía que, con las pruebas sobre el cultivo, se muestre la calidad de la vermicomposta para retener y liberar nutrientes.

4.4 Análisis en cultivos

A continuación, se presenta el desarrollo y los resultados del experimento realizado para evaluar la eficiencia del producto obtenido.

El experimento se inició el 15 de septiembre de 2019 y se terminó el 23 de febrero de 2020, lo que significa que fue realizado en un periodo de 24 semanas. El proceso fue documentado semana a semana, analizando la evolución del producto, pero por razones de concisión, se seleccionó información en donde se pudo detectar una diferenciación y en donde se arrojaron datos significativos entre los sujetos de prueba.

Semana 1: 15 de septiembre de 2019.

De acuerdo con la metodología anteriormente descrita, previamente se sembraron 10 semillas de jitomate. Se utilizó un maceta en la que inicialmente se plantan las semillas para hacerlas germinar. 7 semillas germinaron (Figura 33) y de estos germinados, 6 fueron seleccionados para el desarrollo del experimento.



Figura 33 Plántulas de semillas de jitomate tomadas de un solo fruto. Elaboración propia

Semana 3: 29 de septiembre de 2019.

Se trasplantan las plántulas directamente en el suelo, a 1 m de distancia, de acuerdo con el proceso y en la proporción señalada en el mismo punto. En la siembra en donde se realiza la mezcla con vermicomposta, se coloca un palo de madera para identificar fácilmente en las fotografías las plantas que contienen la mezcla con vermicomposta, ver Figura 35.

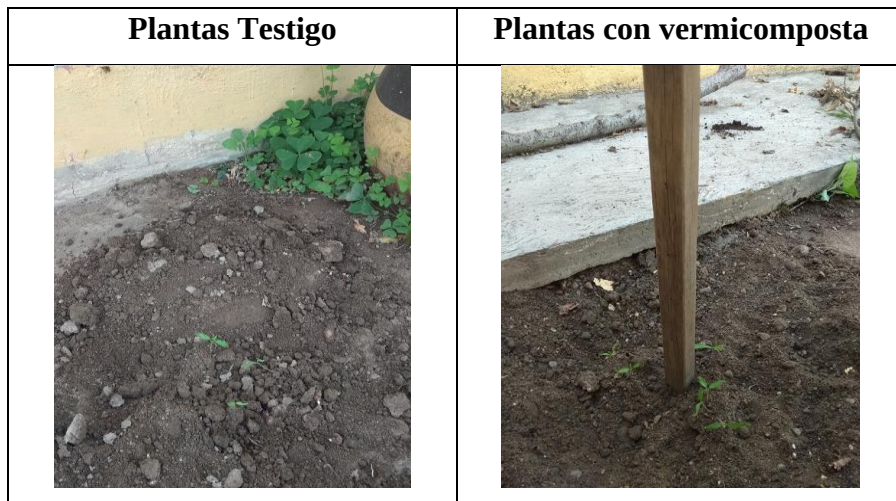


Figura 34: Plantas trasplantadas al lugar de observación. Elaboración propia

Semana 4: 10 de octubre de 2019.

Las plantas desarrolladas estuvieron aún pequeñas pero lograron crecer y a 5 semanas de plantar las semillas, se notó una pequeña diferencia de tamaño desarrollado (Figura 35).



Figura 35: Crecimiento de las plantas en semana 4. Elaboración propia

Semana 5: 17 de octubre de 2017.

Las plantas crecieron algunos centímetros y aunque aún eran pequeñas, se notaron más hojas en las plantas tratadas con vermicomposta, que en la planta testigo, ver Figura 36.

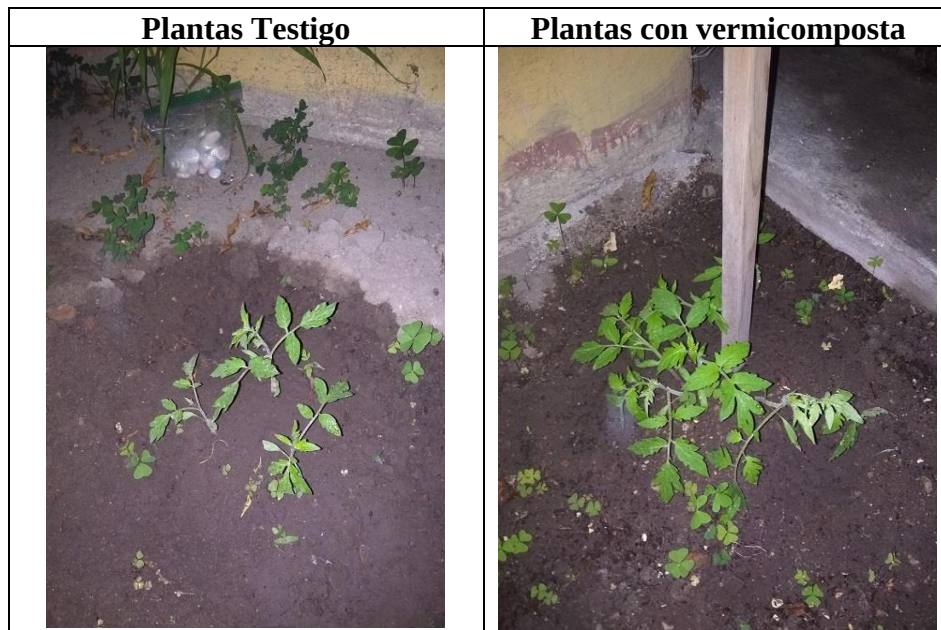


Figura 36: Plantas en semana 5. Elaboración propia.

Semana 7: 29 de octubre de 2019.

Con la finalidad de hacer mediciones de la altura de las plantas, y con la finalidad de hacer notar las evidencias entre las plantas un comparativo se elabora una regla con papel cascarón, haciendo marcas cada 5 cm y marcando los cambios cada 10. Se coloca la regla en la primera planta, se toman las fotografías y se cambia la regla a la segunda planta, se toman las fotografías y se retira la regla.

En la Figura 37 se señala, con flechas rojas la altura de las plantas. El tamaño de la planta testigo fue de 20 cm contra 30cm de la planta tratada con vermicomposta.

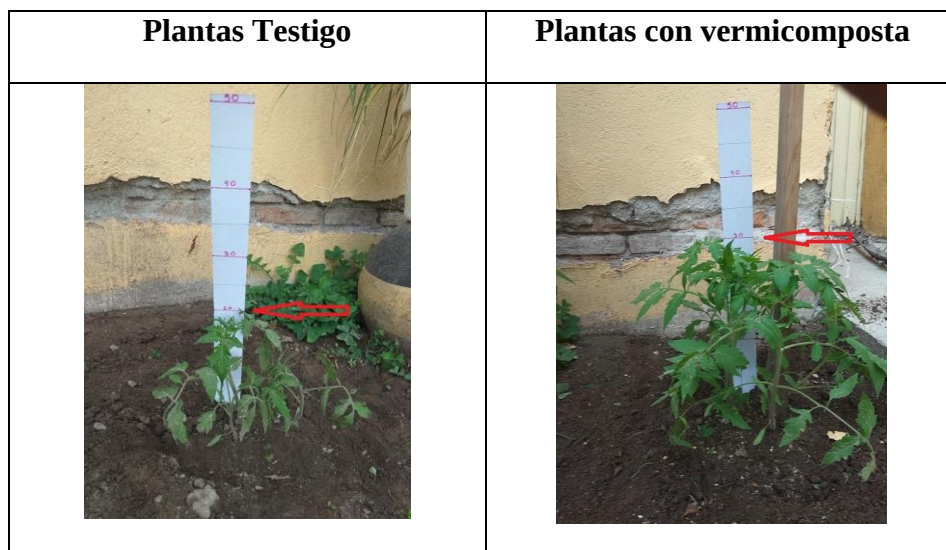


Figura 37. Plantas en semana 7. Elaboración propia.

Semana 9: 14 de noviembre de 2019.

Para el 14 de noviembre de 2019 el tamaño de las plantas sigue siendo de ventaja para la planta con tratamiento con vermicomposta. Las alturas observadas fueron de 25 cm para la planta testigo (sin vermicomposta) y 35 cm con vermicomposta. Es evidente la diferencia en la coloración, tamaño de las hojas, y follaje de las plantas, favoreciendo a las plantas tratadas con vermicomposta, ver Figura 38.

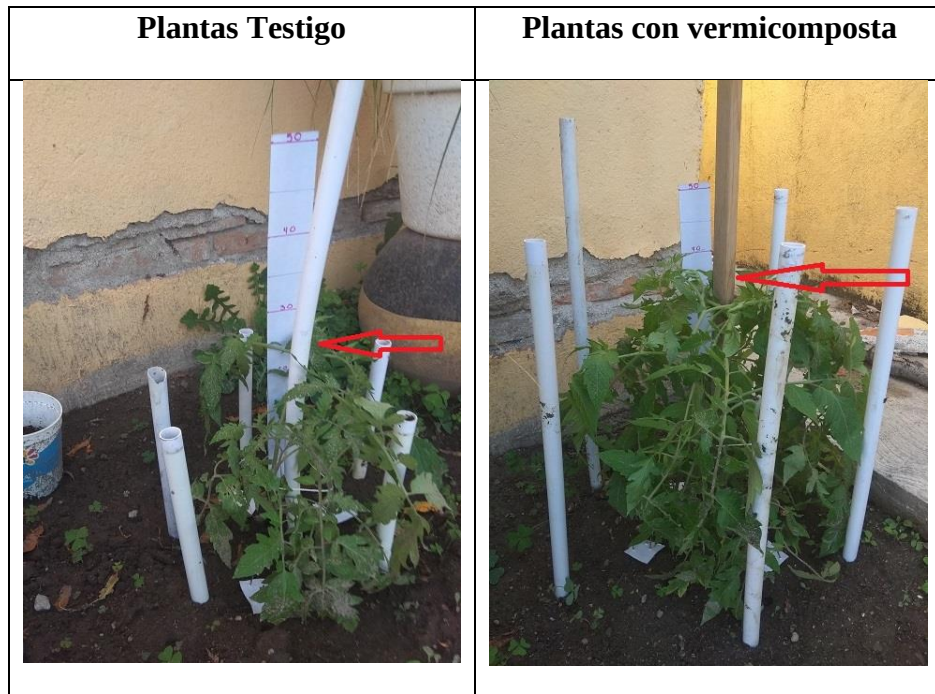


Figura 38. Plantas en semana 9. Elaboración propia.

Semana 12: 4 de diciembre de 2019.

Ambos grupos de plantas rebasaron la altura de la regla utilizada para compararlas. Las alturas aproximadas que se perciben son de 65cm para la planta testigo y de 75cm (se utiliza un flexómetro para hacer la medición). Se notan algunas flores en ambos grupos de plantas, más numerosas en las plantas con vermicomposta, ver Figura 39.

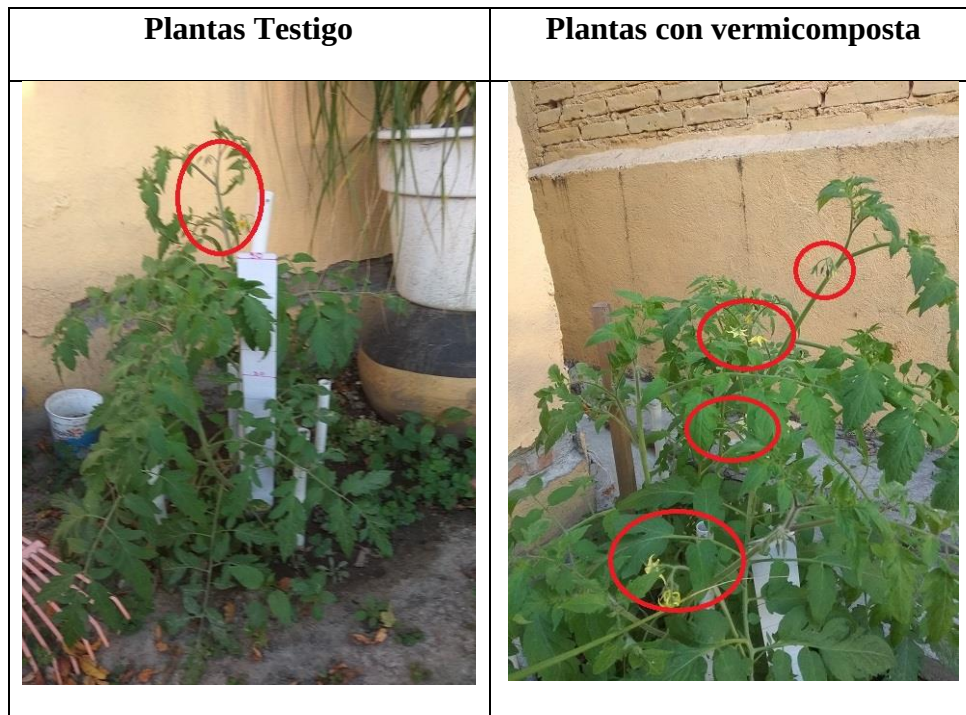


Figura 39. Plantas en semana 12. Elaboración propia.

Semana 14: 14 de diciembre de 2019. Ante la falta de practicidad en la utilización de reglas para mostrar la diferencia entre plantas, se solicita el apoyo de un niño, cuya altura en la fecha de elaboración de la imagen, era de 1.3 m. En las fotografías de la Figura 40 es posible ver la diferencia de desarrollo en las plantas de manera más objetiva. Recrudece el invierno y se presentan riesgos de heladas. Por encontrarse las plantas en un jardín a la intemperie, se decide agregar tubos de PVC para cubrir con plástico y evitar que las heladas puedan quemar las plantas. Se nota en las plantas que el crecimiento en las plantas no ha aumentado significativamente, pero las flores que se tenían han comenzado a transformarse en jitomates pequeños.



Figura 40 Plantas en semana 14. Elaboración propia.

Semana 17. 8 de enero de 2020. Las flores se convierten en frutos y las plantas requieren de ayuda para soportar su peso, por lo que se soportan las plantas con cuerdas y postes, ver Figura 41

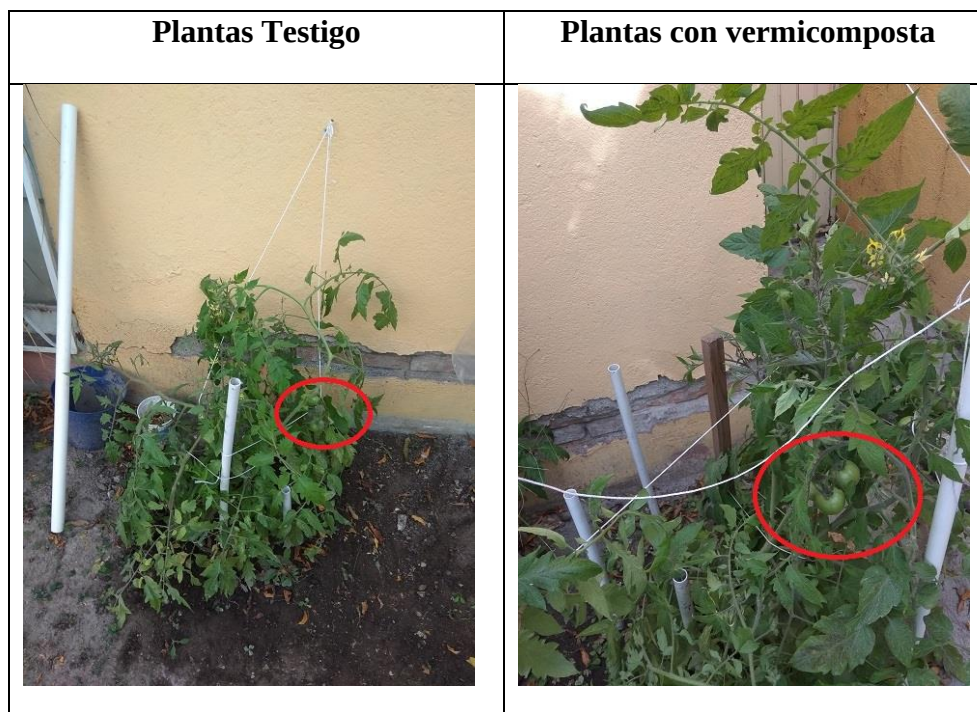


Figura 41: Plantas en semana 17. Elaboración propia.

Semana 19. 24 de enero de 2020. Los jitomates continúan en crecimiento y se espera a que comiencen a madurar para realizar la cosecha, ver Figura 42.

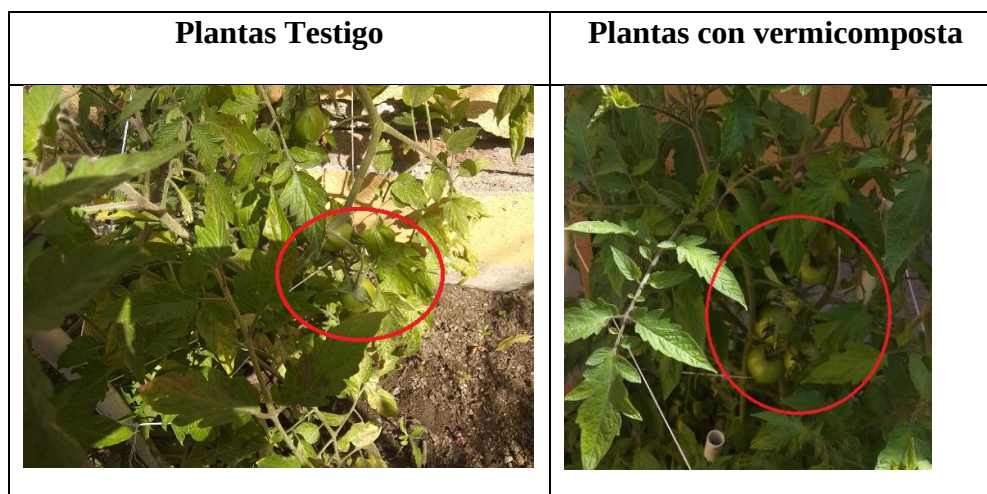


Figura 42. Plantas en semana 19. Elaboración propia.

Semana 20. 31 de enero de 2020. Se continuaron con riegos y cuidados a las plantas y el crecimiento de las plantas no continuó, pero sí el crecimiento de los frutos, desarrollo y maduración que se esperaba en breve tiempo, ver Figura 43.

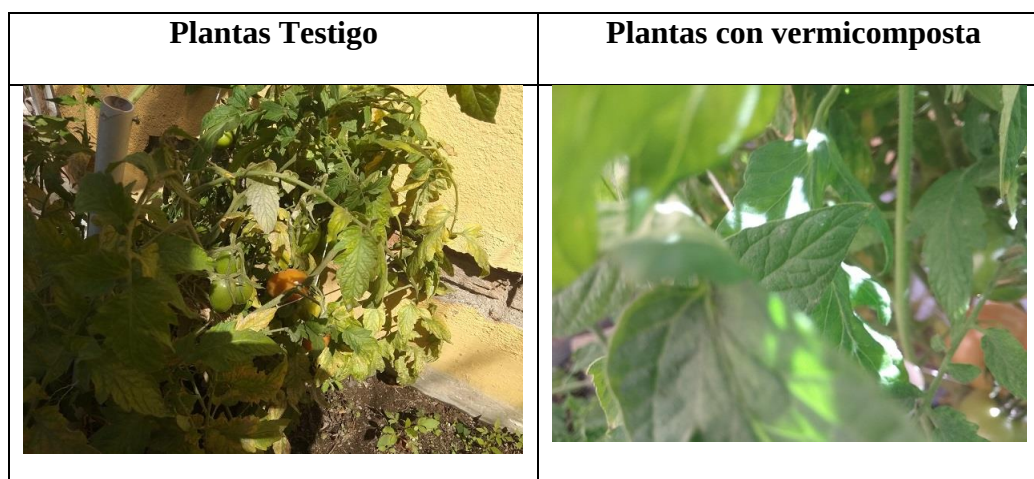


Figura 43: Frutos en plantas en semana 20. Elaboración propia

Semana 24: 23 de febrero. Se llega el tiempo de la cosecha, la altura final registrada para la planta que no se preparó con vermicomposta es de 80cm aproximadamente. La altura desarrollada por la planta preparada con vermicomposta, llegó a una altura de 110cm.

Análisis final de resultados.

En la Tabla 23 se presenta el comparativo entre los resultados obtenidos del experimento:

Tabla 23: Comparativo de resultados del experimento. Elaboración propia.

Característica	Planta testigo	Plantas con vermicomposta
Altura de la planta	80 cm	110 cm
Frutos recolectados	9	9
Frutos aún no aptos para consumo	11	6
Ramas con flores	5	16
Tamaño de hojas	10.5 cm	12.5 cm
Peso de frutos recolectados	542 grs	760 grs
Color	Verde y rojo/naranja, característico del fruto	Verde y rojo/naranja, característico del fruto

En la Figura 44 se presentan los jitomates recolectados. A la izquierda se muestran los jitomates recolectados de las plantas sin vermicomposta; a la derecha se muestran los recolectados de las plantas con vermicomposta. A simple vista se observa la diferencia de tamaños, de color e incluso puede observarse como, a pesar de provenir de semillas del mismo jitomate, los frutos resultantes de las plantas con mezcla de vermicomposta parecen ser de una variedad diferente.



Figura 44 Jitomates cosechados de las plantas tratadas sin y con vermicomposta. Elaboración propia.

4.5 Conclusiones del capítulo

La vermicomposta creada fue preparada para su aprovechamiento conforme a lo planeado y se determinó la cantidad desarrollada, descontando la vermicomposta que continuó transformándose. La cantidad de lombrices utilizadas durante el proceso de transformación de la vermicomposta, fueron determinadas mediante conteo físico. Con una tendencia de cambio de posición en las clases de la población de lombrices contadas. La inspección visual aparece de forma positiva para constatar una buena transformación. Las pruebas de calidad realizadas aprobaron la mitad de los parámetros observados. La prueba de fertilidad se realizó utilizando plantas de jitomate saladet, durante 23 semanas mostrando la prueba añadida con vermicomposta con un mejor desarrollo en términos generales.

Conclusiones

En este trabajo se presenta el desarrollo de un método estandarizado para la elaboración de vermicomposta o lombricomposta mediante la utilización de residuos domésticos. En este trabajo se buscó, principalmente, aprovechar los residuos orgánicos, los cuales, como se puso en evidencia en el primer capítulo de este trabajo, no son aprovechados en el tratamiento de la basura en el estado de San Luis Potosí.

Con la finalidad de aprovechar de la mejor manera estos residuos orgánicos, se analizaron diferentes alternativas, seleccionando la vermicomposta como el proceso adecuado. A lo largo de la investigación se pudo observar que se encuentran numerosos métodos para la obtención de vermicomposta, sin embargo, se hizo evidente la falta de estandarización en los métodos; generalmente se trata de consejos generados por experiencia de los autores. Se analizaron los métodos identificados y se analizaron los procesos, con lo que fue posible identificar las variables que intervienen en la elaboración de vermicomposta, con lo que se cumplió con el primer objetivo específico.

Con la información recabada se desarrolló un método en donde se integran las etapas comunes en los métodos analizados y en donde se agregaron dos etapas para asegurar los buenos resultados. Se realizó un estudio para identificar las variables que intervienen en el proceso y se definieron los valores ideales para ser controlados en el proceso. Al estandarizar el proceso e identificar las cantidades adecuadas para la obtención de la vermicomposta, se dio cumplimiento al segundo objetivo específico.

El método propuesto fue validado y se obtuvo un producto que cumplió satisfactoriamente con las especificaciones para este tipo de productos; además, la vermicomposta se utilizó en un experimento para comprobar los beneficios del producto, obteniendo resultados altamente satisfactorios en lo que a calidad de vermicomposta se refiere, evaluando su desempeño con un análisis químico del producto y utilizando el producto en un cultivo de jitomate. Con esta acción se da cumplimiento al tercer objetivo específico y, por lo tanto, se da cumplimiento al objetivo general y se valida la hipótesis.

En lo correspondiente a la cría de lombrices para la ampliación de cultivos o para su venta, este aspecto no fue satisfactorio, presumiblemente por los efectos del clima, ya que, con la finalidad de poder ser utilizado desde aplicaciones domésticas hasta en aplicaciones industriales, se hizo al exterior, sin utilización de invernaderos o espacios protegidos del medio

ambiente. Esto provocó que las lombrices entraran en estado de latencia y no se multiplicaran; sin embargo, los objetivos principales, que eran la generación del método estandarizado, escalable y el aprovechamiento de residuos domésticos se cumplió satisfactoriamente.

Como recomendación final se sugiere que, en caso de reproducir el proceso a la intemperie, se realice el cultivo en primavera, para tener resultados óptimos.

Referencias

- Acosta-Durán, C. &.-P.-T.-V. (2013). PRECOMPOSTEO DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU EFECTO EN LA DINÁMICA POBLACIONAL DE *Eisenia foetida*. *Redalyc.org, Agronomía Costarricense.*, 37 (1), 127-139.
- Agro waste. (25 de 03 de 2014a). *Digestión anaerobia*. Obtenido de www.agrowaste.eu: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>
- Agro waste. (25 de 03 de 2014b). *Compostaje*. Obtenido de www.agrowaste.eu: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/COMPOSTAJE.pdf>
- Agro waste. (25 de 03 de 2014c). *Alimentación animal, elaboración de pellets*. Obtenido de www.agrowaste.eu: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/ALIMENTACION%20de%20Lombricultura.pdf>
- Agroflor Lombricultura, Mejía P. (28 de 12 de 2005). <http://agro.unc.edu.ar/>. Obtenido de <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>
- Ali, M., Harper, M., Pervez, A., Rouse, J., Drescher, S., & Zurbrugg, C. (2004). *Sustainable Composting*. Leicestershire: Water, Engineering and Development Centre/SANDEC/EAWAG.
- Amigos de la tierra. (2005). *Manual de compostaje*. Madrid: Amigos de la tierra.
- Amigos de la tierra. (31 de enero de 2012). www.tierra.org. Obtenido de <https://www.tierra.org/manual-de-compostaje/>: https://www.tierra.org/?s=compost_esp_v04
- Baud, I., Post, J., & Furedy, C. (2004). *Solid waste and management and recycling*. Kluwer Academic Publishers.
- Cadena Maya, M. E., Hernández Castillo, Y., & Osorio Solano, E. S. (2009). *Investigación de basura orgánica en el D.F.*. México, D.F.: Universidad Autónoma de México.
- Camiletti Morales, J. (2016). *Estudio de vermicompostaje de vermicompost de residuos orgánicos de distinta naturaleza*. Alicante: Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Chávez Espinoza, G. (24 de julio de 2018). *Inforural*. Obtenido de lombricomposta para el cuidado de la planta de frijol: <https://www.inforural.com.mx/lombricomposta-para-el-cuidado-de-la-planta-de-frijol/>
- Ciudadanos observando. (05 de Marzo de 2016). *Investigación sobre el problema de la basura en SLP*. Obtenido de www.ciudadanosobservando.org.mx: <https://www.ciudadanosobservando.org.mx/news/investigacion-sobre-el-problema-de-la-basura-en-slp/>
- Cuenca Sánchez, T. (2018). *Guía del cultivo de tomate*. Obtenido de Planeta Huerto: <https://www.planetahuerto.es/guias/guia-de-cultivo-del-tomate>
- Díaz, E. (Abril de 2002). *Guía de Lombricultura, para emprendedores y productores del agro*. La Rioja, Logroño, España.
- Domínguez, P. (19 de 10 de 2016). www.milenio.com. Obtenido de CD. de México: http://www.milenio.com/df/programa_basura-gobierno_cdmx-basura_cero-recuperacion_residuos-milenio_noticias_0_832117161.html
- Druker Colin, R., & Beyer, M. E. (2010). La basura: todos somos culpables. (Contenido, Ed.) *Contenido*, 568, 18-21.
- Eliades, A. (2009). *Deep Green Permaculture*. Obtenido de Hot compost- Composting in 18 days: <https://deepgreenpermaculture.com/diy-instructions/hot-compost-composting-in-18-days/>
- Emison. (s.f.). *emison.com*. Obtenido de vermicomposta: <https://www.emison.com/5105.htm>

- FAO. (1980). *el reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de america latina*. San José: FAO/SIDA (Ornizacion Sueca par el Desarrollo Internacional).
- Ferruzzi, C. (1987). *Manual de lombricultura*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Flores Serrano, J. (s.f.). *Fundacion para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental*.
Obtenido de Biblioteca Agroecología FUNDESYRAM:
<http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3948>
- Fregoso, B. (4 de diciembre de 2012). *www.diariodemorelos.com.mx*. Obtenido de En el centro de transferencia de basura los agrava graves problemas de Operatividad. :
<http://www.diariodemorelos.com/content/en-el-centro-de-transferencia-de-basura-los-agrava-graves-problemas-de-operatividad-foto-ber>
- Gómez Rosales, S., Espinosa García, J. A., González Orozco, T. A., & Salazar Gutierrez, G. (2007). *Alteernativas para el reciclaje de excretas animales: Producción de humus de lombriz*. México D.F.: INIFAP.
- Guzmán Chávez, M., & Macías Manzanares, C. H. (2012). El manejo de los residuos sólidos municipales: un enfoque antropológico. El caso de San Luis Potosí,. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Estudios Sociales*, vol. XX, núm. 39, 235-261.
- H. Ayuntamiento de Aguascalientes. (2013). *Ecco ciudad de Aguascalientes, Perspectivas del ambiente y cambio climatico en el medio ambiente*. Aguascalientes: H. Ayuntamiento de Aguascalientes, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADESU).Dirección de Medio Ambiente.
- Hernández A., J. A., Guerrero L., F., Mármol C., L. E., Barcenás B., J. M., & Salas, E. (2008). Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *sociación Interciencia*, 678-671.
- J Carvajal, A. M. (2010). Fertilización biológica técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + limpia*, 79-91.
- Keung, P. C. (26 de 10 de 2010). *DW Made for minds*. Obtenido de Energía a partir de desechos orgánicos, global Ideas: <http://www.dw.com/es/energ%C3%ADa-a-partir-de-desechos-org%C3%A1nicos/a-6150946>
- León Gómez, A. (2012). *ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN DE EXPOSICIÓN A RIESGOS AMBIENTALES A LA SALUD EN DISTINTAS: Tesis*. San Luis Potosí, S.L.P.: Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
- Lopera Echavarría, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristizábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). El método analítico como método natural. *Nómadas, revista crítica de ciencias sociales y jurídicas*, 327-353.
- López M., A. (2007). *Uniones Voluntarias de Recolección de Basura. Redes socailes y relaciones de poder. Tesis*. San Luis Potosí, S.L.P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinacion de Ciencias Sociales y Humanidades.
- Lorenzo Acosta, , Y., & Obaya Abreu, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. XXXIX, núm. 1, 35-48.
- Macías Manzanarez, C. H. (1 de junio de 2009). *www.jornada.unam.mx*. Obtenido de La jornada ecológica\Una mirada al tiradero municipalde Peñasco, SLP:
<http://www.jornada.unam.mx/2009/06/01/eco-i.html>
- Macías Manzanarez, C. H. (Septiembre de 2009). Pepenadores en el tiradero de Peñasco, San Luis Potosí, Estrategias de organizacion, negociacion y resistencia frente a cambios en la gestión de residuos sólidos municipales". San Luis Potosí, San Luis Potosí, México: Colegio de San Luis.

- Manzanares, C. H. (Septiembre de 2009). Pepenadores en el tiradero de Peñasco, San Luis Potosí, Estrategias de organizacion, negociaciòn y resistencia frente a cambios en la gestión de residuos sólidos municipales". San Luis Potosí, San Luis Potosí, México: Colegio de San Luis.
- mariajesusl. (30 de noviembre de 2010). *Como Cultivar Tomates*. Obtenido de El Huerto de Urbano: <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/tomates/>
- mariajesusl. (20 de agosto de 2012). *Como Cultivar Poroto o Judía o Frijol*. Obtenido de El huerto de Urbano: <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/poroto-judia-frijol/>
- Masera Cerutti, O. R., Aguillón Martínez, J. E., & Arvizu Fernandez, J. L. (2006). *La Bioenergía en México, un catalizador del desarrollo sustentable*. México, D.F.: Libro Blanco de la Bioenergía en México, Red Mexicana de Bioenergía-CONAFOR. México D. F. ISBN: 968-7462-42-6. PDF.
- Milly. (4 de septiembre de 2018). *como cultivar frijoles en macetas*. Obtenido de trucos de jardinería: <https://trucosdejardineria.com/vegetales/como-cultivar-frijoles-en-macetas/>
- Nancarrow L., H. J. (1998). *The worm Book*. Berkeley Ca.: Ten Speed Press.
- Orta de Velásquez, T. M., Yáñez Noguez, I., Monje Ramírez, I., Rojas Valencia, M., Toscano Vélez, L., Rentería Martínez, J., . . . Hernández Reyes, L. (2009). *Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos*. Insituto de Ingenieria de UNAM.
- Parra, E. (2009). *Ciudadania Express, Periodismo de Paz*. Obtenido de <http://ciudadania-express.com/2009/05/26/la-basura-generadora-de-problemas-sociales-y-ambientales-en-mexico/>
- Peña Camacho, P. (2014). *Manual de Iredworms mx*. México, D.F.: Redworms Mx.
- Pineda Pablos, N., & Loera Edmundo, B. (septiembre de 2006). Bien recolectada pero mal tratada. El manejo de la basura en Ciudad Obregón, Hermosillo y Nogales, Sonora. Hermosillo, Sonora, Mexico.
- Plano informativo. (23 de 09 de 2015). *planoinformativo.com*. Obtenido de Locales\Niegan confinamiento de residuos peligrosos en Peñasco: <http://planoinformativo.com/415125/niegan-confinamiento-de-residuos-peligrosos-en-penasco-slp>
- Plano Informativo. (17 de enero de 2018). *planoinformativo.com*. Obtenido de <http://planoinformativo.com/568592/red-ambiental-garantiza-servicio-de-recoleccion-de-basura-en-slp>
- Poza, V. (14 de Mayo de 2018). *Viveros Poza*. Obtenido de Tu huerto en casa ¡Tomateras en maceta!: <https://www.viverospoza.com/tu-huerto-en-casa-tomateras-en-maceta/>
- Ramos Alvario, C. (2005). Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 45-53.
- Recytrans. (09 de 08 de 2013). *Reciclaje de residuos orgánicos*. Obtenido de Recytrans soluciones globales para el reciclaje: <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos-organicos/>
- Red Ambiental. (2015). *www.redambiental.com*. Obtenido de <http://www.redambiental.com/mir/>
- Roblero Ramírez, H. R.-Q. (2014). Evaluación de cinco dosis de vermicomposta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(spe8), 1495-1500. Recuperado en 05 de septiembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2. Sinaloa, México.
- Rodríguez Salinas, M. A., & Córdova y Vazquez, A. (septiembre de 2006). *Manual de compostaje municipal, Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. México.
- Rodríguez, R. (24 de septiembre de 2015). *tierrabaldía.com.mx*. Obtenido de Disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios: <http://tierrabaldia.com.mx/noticia/734/disposicion-final-de-residuos-solidos-en-rellenos-sanitarios/>

- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor, experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Romero Figueroa, J. C., Sánchez Escudero, J., Rodríguez Mendoza, M. N., & Gutiérrez Castorena, M. C. (2016). Producción de Vermicomposta a base de rastrojo de maíz (*Zea Mays*) y estiércol de bovino lechero. *Agro productividad*, 52-59.
- Rosell, M. B. (2013). LAS CUENTAS PENDIENTES DEL MANEJO DE LA BASURA. *DEBATES IESA, Volumen XVIII No. 3*, 49-53.
- Rosique, M. (18 de junio de 2015). *4 reglas para plantar tomates en macetas*. Obtenido de plantea en verde: <https://www.planteaenverde.es/blog/plantar-tomates-en-macetas/>
- SAGARPA. (2007). *Fichas Técnicas sobre Actividades Agrícolas, Pecuarias y de Traspas*. Obtenido de Lombricultura: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>
- Schuldt, M. (Febrero de 2006). *www.manualdelombricultura.com*. Obtenido de Foro general: <https://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/25160.html>
- Schuldt, M. (29 de 10 de 2008). *Estrucplan online*. Obtenido de Iniciación de lombricultivos de *Eisenia fetida* (y *E. andrei*) (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) con siembras de baja densidad: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2027>
- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L. A., & Mayo, J. P. (julio de 2005,). Pruebas de aceptación de alimentos y contraste de dietas en lombricultura. *Redvet, Revista Electrónica de Veterinaria*, VI (7).
- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L., & Mayo, J. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *Redvet Revista Electronica de Veterinaria en línea*, VIII (8), 1-10.
- Secretaría de Economía. (2008). *Catálogo de Normas Mexicanas*. Obtenido de Competitividad y Normatividad: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente. (Julio de 2017). *Separación de residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México*. Obtenido de <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/index.html>
- Sepúlveda Villada, L. A., & Alvarado Torres, J. A. (2013). *Manual de compostaje. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Soluciones de compostaje gestion ecológica de residuos. (4 de 03 de 2016). *www.ecompostaje.com*. Obtenido de manual de vermicompostaje vermican: http://www.ecompostaje.com/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=143&lang=es
- terra.org. (15 de 01 de 2008). *www.terra.org*. Obtenido de Tabla de alimentos para las lombrices: http://www.terra.org/data/Tablacomida_vermicasa_es.pdf
- Uniradio noticias. (1 de febrero de 2018). *www.uniradionoticias.com*. Obtenido de De nuevo se queda Guaymas sin servicio de limpieza: <http://www.uniradionoticias.com/noticias/policiaca/511541/de-nuevo-se-queda-guaymas-sin-servicio-de-limpia.html>
- urbana, L. r. (23 de Mayo de 2015). *www.lombrizrojaurbana.blogspot.com*. Obtenido de Lombricultura como reciclar la basura orgánica en abono.: <http://lombrizrojaurbana.blogspot.com/2015/05/lumbricultura-como-reciclar-la-basura.html>
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar*. Obtenido de Manual de Biogás: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

vermican. (20 de 12 de 2011). *manual de vermicompostaje*. Obtenido de <https://ecompostaje.com/>:
<https://ecompostaje.com/download/manual-vermicompostaje-vermican/>
Yard, J. (2007). *Eisenia fetida*. Obtenido de <http://bioweb.uwlax.edu>:
http://bioweb.uwlax.edu/bio203/2010/yard_jose/history.htm#