



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
GENERADOS EN LA FES IZTACALA, MEDIANTE EL
COMPOSTEO Y LA LOMBRICULTURA

Que para obtener el título de

Biólogo

PRESENTA

Boris Mauricio Huerta Rojas

Director de tesis

M. en C. Alfonso Reyes Olivera

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México,

2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Eres la inspiración de seguir luchando para tener un mejor mañana. Eres la luz de mi vida y contigo aquí, todo vale la pena. Te amo hijo. Mi Amir.

Te agradezco desde el comienzo de nuestra historia hasta estas instancias, el transcurso no fue fácil, pero estuviste ahí cuando lo necesitaba, ahora el resultado de dicho apoyo es este escrito. Te amo Cintya. Muchas gracias.

A mis padres por darme la vida, sus aprendizajes y apoyarme en lo más que pudieron. La perseverancia fue uno de los valores que más me inculcaron, ahora esta materializado en este breve trabajo. Siempre les estaré agradecido.

A mis hermanos por vivir y compartir experiencias, el apoyo que nos brindamos en tiempos difíciles se transformó en esta meta lograda. Gracias Saúl y Diego.

A mis amigos, colegas y profesores. Les agradezco mucho las vivencias, experiencias y apoyo compartido. Siempre los recordaré con gran añoranza.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
ÍNDICE.....	II
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Residuos sólidos.....	2
Justificación	5
Objetivos.....	5
MARCO TEÓRICO	6
Normatividad de los RSU.....	6
Normatividad federal	6
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas	8
Normatividad estatal.....	8
Normas técnicas ambientales del Estado de México	10
Normatividad municipal	11
La composta	14
¿Qué hay en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos?	16
La mineralización.....	17
Fases de la producción de la composta.....	18
Factores abióticos en la composta.....	20
Relación C/N	21
Temperatura, humedad y ventilación	23

Factores bióticos	24
Residuos para la elaboración de la composta.....	25
Sistemas de composteo	26
Sistemas abiertos o en pilas	27
Sistemas cerrados	28
La lombricultura.....	30
La lombriz de tierra.....	31
Características taxonómicas de las lombrices de tierra.....	32
Anatomía externa	33
Anatomía interna.....	40
Identificación taxonómica de la lombriz de tierra de la FESI y alimento	43
Programa de Manejo Integral de Residuos de la FESI	47
Generación de RSU y sus principales componentes	48
Residuos de jardinería.....	54
MATERIALES Y MÉTODOS DISEÑO DEL PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES	57
Clasificación y determinación de la FORSU	57
Aprovechamiento de la FORSU	58
Plan de manejo de los residuos biodegradables de la FESI	58
Separación	59
Identificación y alimentación de la lombriz de tierra	63
RESULTADOS	66
Resultados del compostaje	66
Identificación de la especie de lombriz de tierra.	69
Identificación taxonómica	70

Alimentación de la lombriz	70
Metas de cobertura y de aprovechamiento durante el plan	72
Mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general	72
DISCUSIÓN	73
Normatividad	73
Tratamientos.....	73
Lombricultura.....	74
CONCLUSIONES.....	75
LITERATURA CITADA.....	76
ANEXO I NORMAS MEXICANAS.....	81
ANEXO II RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO.....	84
ANEXO III IDENTIFICACIÓN DE LA LOMBRIZ DE TIERRA.....	89
ANEXO IV PARÁMETROS DE REFERENCIA EN EL HUMUS DE LOMBRIZ.....	97
ANEXO V	99
Actividades en la FESI.....	99
Actividades fuera de la FESI	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Desechos del comedor y de jardinería transformados en composta por acción de los microorganismos. Fuente: PROMIR.....	14
Figura. 2. Materia orgánica (FORSU), antes de ser procesada. Fuente: PROMIR.....	15
Figura. 3. Etapas del proceso de mineralización en el composteo. Fuente: FAO 2013.....	18
Figura 4. Materiales recomendados con su contenido de carbón, nitrógeno y humedad para realizar composta. Fuente: SEMARNAT, 2006.....	22
Figura 5. Clasificación de residuos para el compostaje. Fuente: SEMARNAT, 2006.....	25
Figura 6. Compostaje en pila, en tres etapas de degradación. Fuente: PROMIR.....	27
Figura 7. Compostaje en tambos. Fuente: PROMIR.....	28
Figura 8. Cuerpo completo de una lombriz. Fuente. Moreno et al., 2012.....	33
Figura 9. Tipos de prostomios. Fuente: Lainez y Jordana, 1987.....	34
Figura 10. Representación anatómica de una queta. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	35
Figura 11. Disposición de las quetas o sedas. Fuente: Zaballos y Moreno, 2009.....	36
Figura 12. Orden de las quetas. Fuente: Lainez y Jordana, 1987.....	36
Figura 13. Diferentes tipos de clitelo y pubérculos. Fuente: Modificada de Lainez y Jordana, 1987.....	37
Figura 14. Corte de la pared epitelial del clitelo mostrando los tres tipos de glándulas. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	38
Figura 15. Vista ventral del cuerpo de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	39

Figura 16. Tubo digestivo de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	40
Figura 17. Sistema circulatorio de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	41
Figura 18. Sistema nervioso de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	41
Figura 19. Sistema reproductor de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.....	42
Figura 20. Artesa o sitio de almacenamiento temporal de los RSU de la FESI.....	48
Figura 21. Cuantificación de RSU en periodo intersemestral. Fuente: PROMIR.....	49
Figura 22. Método de cuarteo y cuantificación de los residuos que integran los RSU de la FESI. Fuente: PROMIR.....	50
Figura 23. Residuos que integran los RSU de la FESI en el periodo intersemestral. Fuente: PROMIR.....	51
Figura 24. Residuos que integran los RSU de la FESI en el periodo semestral. Fuente PROMIR.....	53
Figura 25. Artesa o sitio de almacenamiento temporal de residuos de jardinería. Fuente: PROMIR.....	55
Figura 26. Residuos de comida recolectados. Fuente: PROMIR.....	59
Figura 27. La ARTESA donde se depositan los residuos de jardinería. Fuente: PROMIR.....	60
Figura 28. Secado y tamizado del humus de lombriz. Fuente: PROMIR.....	64
Figura 29. Humus de lombriz tamizado y empaquetado. Fuente: PROMIR.....	64
Figura 30. Composta del T1 a término de ocho semanas. Fuente: PROMIR.....	67

Figura 31. Composta del T2 al término de ocho semanas. Fuente: PROMIR.....	68
Figura 32. Lombriz de tierra con cuerpo de color rojo parduzco y con franjas intersegmentales amarillas. Fuente: Propia.....	69
Figura 33. Lombriz de tierra E. foetida. Fuente: PROMIR.....	70
Figura 34. Parte ventral de la lombriz donde están los poros masculinos. Fuente: Propia.....	89
Figura 35. Lombriz de tierra observada lateralmente. Fuente: Propia.....	89
Figura 36. Prostomio y parte apical de la lombriz de tierra. Fuente: Propia.....	90
Figura 37. Cuerpo completo de la lombriz de tierra. Fuente: Propia.....	93
Figura 38. Vista dorsal de la parte apical de E. foetida. Fuente: Propia.....	93
Figura 39. Clitelo ubicado dorsalmente. Fuente: Propia.....	94
Figura 40. Pubérculo a un costado del clitelo. Fuente: Propia.....	94
Figura 41. Parte dorso-apical del cuerpo de la lombriz. Fuente: Propia.....	95
Figura 42. Especificaciones fisicoquímicas que debe cumplir el humus de lombriz. Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2008.	97
Figura 43. Especificaciones microbiológicas que debe cumplir el humus de lombriz. Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2008.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros abióticos en la composta y su importancia. Elaboración propia.....	20
Tabla 2. Residuos permitidos como alimento en la lombricultura. Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2008.....	44
Tabla 3. Cuantificación de RSU en el periodo intersemestral. Fuente: PROMIR.....	51
Tabla 4. Cuantificación de RSU en el periodo semestral. Fuente: PROMIR.....	52
Tabla 5. Normas mexicanas correspondientes a los residuos sólidos. Fuente: Propia.....	80
Tabla 6. Relación C:N del T1.....	86
Tabla 7. Relación C:N del T2.....	87
Tabla 8. Designación y clasificación del producto en base a la NMX-FF-109-SCFI-2008.....	96

RESUMEN

En el presente trabajo se aborda la problemática de los residuos sólidos urbanos, en especial los de origen orgánico. Se realizó una revisión del marco normativo correspondiente en materia de residuos para tener un panorama sobre las competencias de las autoridades federales, estatales y gubernamentales, así como los derechos y obligaciones del sector social y privado.

Posteriormente se realizó una investigación sobre la revalorización de los residuos orgánicos mediante la composta y la lombricomposta, ambas técnicas fueron implementadas en la FES Iztacala con el fin de reducir la generación de residuos orgánicos en la institución. Por otra parte se identificó la especie de la lombriz roja californiana cuyo nombre científico es *Eisenia foetida* que se usó para la elaboración de lombricomposta.

En las tareas de difusión sobre la elaboración de composta y lombricomposta a partir de los desechos orgánicos generados en la FES Iztacala, se impartieron pláticas y talleres sobre dichas temáticas. Estos elementos permitieron poner marcha tomando como referencia la NOM- 161-SEMARNAT-2011, el Plan de Manejo para los Residuos Orgánicos generados en la FES Iztacala con la colaboración del PROMIR.

INTRODUCCIÓN

Residuos sólidos

Los residuos son todos aquellos materiales que son desechados por el propietario, presentándose en cualquier estado de agregación, ya sea sólido, líquido o gaseoso, y podrían estar sujetos a tratamiento para ser valorizado, o definitivamente ser llevados a un sitio de disposición final para formar parte de las toneladas de contaminantes ya existentes (SEMARNAT, 2006). Estos residuos han sido divididos en tres categorías de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2015):

- Residuos peligrosos (RP). Son todos aquellos que posean una o más de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que se consideren de riesgo, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados.
- Residuos de manejo especial (RME). Todo aquel material que sea generado en los procesos productivos y no reúna las características para ser considerado como residuo peligroso o como residuo sólido urbano.
- Residuos sólidos urbanos (RSU). Son todos los generados en las casas habitación, en los establecimientos con características domiciliarias, y los de la vía pública, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques.

Se ha calculado que mundialmente la producción de los RSU es cerca de 1 300 millones de toneladas diarias, la cual está en constante aumento y para 2025 podría alcanzar la cantidad de 2 200 millones de toneladas (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012). Las principales fuentes generadoras de residuos son las zonas en donde existe una mayor producción y consumo de bienes y servicios. Esto se debe al crecimiento y desarrollo urbano e industrial, al crecimiento poblacional y a las irregularidades gubernamentales y privadas para implementar estrategias eficaces para regular los RSU en México (SEMARNAT, 2016).

Los RSU son un problema de orden social, económico y ambiental, por la emisión de gases de efecto invernadero como el metano y dióxido de carbono; la generación de lixiviados que contaminan el agua y el suelo, ya que se filtran llegando a los mantos freáticos; la propagación de malos olores y fauna nociva que a su vez desencadenan enfermedades que afectan a la población (Kiss y Encarnación, 2006). Sin embargo se hacen esfuerzos por darles un tratamiento y revalorizarlos, por ejemplo el reciclado de PET, papel, cartón y metal. En el caso de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), su aprovechamiento puede ser mediante la biotecnología de la producción de composta y lombricomposta (SEMARNAT, 2006).

Las técnicas biotecnológicas anteriormente mencionadas son herramientas que permiten acelerar el proceso de degradación en casi cualquier residuo orgánico. En el caso de la elaboración de composta, es una actividad de gran importancia porque utiliza como materia prima los residuos biodegradables, reduciendo la contaminación en el agua, el suelo y el aire, siempre y cuando exista un manejo adecuado de los residuos, además que se obtiene un abono orgánico que se puede ocupar en la agricultura o la lombricultura (FAO, 2013).

Cabe mencionar que la composta es utilizada en la lombricultura, la cual es una actividad practicada en gran parte del mundo para aprovechar los residuos orgánicos. Existen dos tipos de aprovechamiento mediante la lombricultura: el productivo, que utiliza la lombriz para comercializar su carne y el humus; y el ecológico, que utiliza a éste organismo como bioremediador para la degradación de sustancias residuales e industriales (Fuentes, 1987).

Por tal motivo las instituciones de educación superior (IES) han aplicado estas herramientas biotecnológicas para reducir la generación de FORSU, obteniendo resultados favorables, como por ejemplo Vargas *et al.*, (2015), realizaron un estudio en la Universidad Tecnológica de Salamanca en Guanajuato, México, mediante un plan de manejo de residuos sólidos, donde determinaron la cantidad de los residuos que más generan y cuáles son susceptibles a reducción, reciclado y/o tratamiento. En el caso de los residuos orgánicos provenientes de la cafetería y de la poda de jardinería, fueron propuestos para ser utilizados como composta en apoyo de los programas de reforestación y de mantenimiento de las áreas verdes de la universidad.

Por otra parte, en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, en Mérida (CINVESTAV-Mérida), Maldonado en el 2006, realizó un programa de reducción y reciclaje, en el cual se logró minimizar la cantidad de RSU que se disponían en los rellenos sanitarios. Esto fue gracias a la separación de los residuos orgánicos e inorgánicos, donde los primeros fueron sometidos a tratamiento mediante el compostaje, produciendo 2 500 kg/año, reduciendo el volumen que era enviado al basurero, mientras que los segundos eran enviados al reciclaje.

En la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES-I) de la UNAM, se implementó el Programa de Manejo Integral de Residuos (PROMIR) en el 2014, el cual tiene por objetivo minimizar la generación de los residuos y un manejo más adecuado de los mismos. Para su implementación, se inició una campaña muy intensa de educación ambiental, realizando actividades que contribuyen a la separación de sus componentes, haciendo partícipes a la comunidad estudiantil, docente, trabajadora y administrativa. En un diagnóstico que realizó el PROMIR, se encontró que se generaron ocho toneladas de RSU por semana en periodo semestral, de los cuales los orgánicos representaban la mitad del peso total.

Para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) de la FESI, se ha puesto en marcha el presente plan de manejo, el cual tiene como meta revalorizarlos mediante el compostaje y la lombricultura.

Justificación

Debido a las enormes desventajas sanitarias, económicas, sociales y ambientales de los RSU en la FESI, se hace necesario establecer estrategias que reduzcan su generación y optimizar su aprovechamiento. Además de que la Facultad tiene el deber legal y moral de impulsar acciones que promuevan el cuidado del ambiente y garantizar la salud de las personas. Una solución para aprovechar la FORSU que se genera en la FESI es a través de la puesta en marcha de un plan de manejo que se apoye en biotecnologías sencillas y de alto impacto, como el compostaje y la lombricultura.

Objetivos

Objetivo general

- Poner en marcha un Plan de Manejo para los Residuos Orgánicos (PMRO) generados en la FES Iztacala (FESI), mediante la producción de composta y humus de lombriz.

Objetivos particulares

- Analizar la normatividad aplicable en México para el manejo de los RSU y la FORSU.
- Establecer las bases metodológicas para la implementación del plan de manejo de la fracción orgánica en la FESI.
- Identificar a la lombriz de tierra que se usará en el criadero de la FESI.

MARCO TEÓRICO

Normatividad de los RSU

En México las autoridades federales, estatales y municipales implementan estrategias en el manejo de residuos de acuerdo a sus respectivas competencias, y para comprender mejor este panorama, es necesario conocer la normatividad aplicable para el manejo de los residuos sólidos urbanos.

Mediante el estudio de estas herramientas normativas será posible delimitar las obligaciones de los servidores públicos y la participación de la sociedad, en el manejo de los RSU. A continuación se mencionarán las principales leyes y normas de los tres órdenes de gobierno para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos, y se revisarán las que tienen relación y que regulan el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

Normatividad federal

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 115 se menciona que los municipios tendrán a su cargo el servicio de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos. A partir de este mandato constitucional, han emanado instrumentos normativos relacionados con el manejo de los residuos.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), es la principal herramienta normativa en cuanto al manejo de los residuos sólidos urbanos, peligrosos y de manejo especial. Aquí es donde se retoman las competencias y funciones de cada orden de gobierno para manejar adecuadamente los residuos.

Asimismo, esta ley categoriza los diferentes tipos de residuos y promueve el manejo integral de los mismos.

La LGPGIR menciona en su artículo 10 que los municipios tienen a cargo el manejo de los RSU, además de formular programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. También en el mismo artículo, en el párrafo dos, se describe quiénes deben de emitir los reglamentos y demás disposiciones jurídico-administrativas para que se cumpla con lo estipulado en la LGPGIR.

Adentrándose en materia de los planes de manejo, en la LGPGIR en su Capítulo II “Planes de manejo”, se menciona en su artículo 28, fracción III, quiénes son los generadores que tienen la obligación de formular y ejecutar su plan de manejo, a saber, ellos son:

III. Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en residuos sólidos urbanos o de manejo especial, que se incluyan en los listados de residuos sujetos a planes de manejo, de conformidad con las normas oficiales mexicanas correspondientes; los residuos de envases plásticos, incluyendo los de poliestireno expandido; así como los importadores y distribuidores de neumáticos usados, bajo los principios de valorización y responsabilidad compartida...

En la misma LGPGIR se señala que toda persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año, es considerado como gran generador, y por ello tiene la obligación de realizar un plan de manejo de los residuos que produzca, según las exigencias del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR), la cual establece las bases para la formulación del plan de manejo para residuos sólidos urbanos, peligrosos y de manejo especial.

Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas

De acuerdo con la LGPGIR y la Ley federal sobre metrología y normalización, una de las facultades del gobierno federal es expedir las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX), relativas al manejo integral de residuos sólidos urbanos. Las NMX que regulan los RSU, están enfocadas a realizar distintos análisis para su adecuado manejo, por lo que son de gran utilidad debido a que son referencias para realizar pruebas cualitativas y cuantitativas (Anexo 1. Tabla 5), además de que son de gran importancia para los tres órdenes de gobierno, en la ejecución de proyectos en materia de residuos.

Para tener un manejo más adecuado de los RSU, el gobierno federal ha emitido Normas Oficiales Mexicanas, que están en sincronía con el Reglamento de la LGPGIR, como la NOM-161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Normatividad estatal

Como ya se mencionó anteriormente, el manejo de los RSU es competencia de los municipios, y en el caso particular del Estado de México, está fundamentado en la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México, en el artículo 122, donde se menciona que las atribuciones del ayuntamiento están establecidas en la Carta Magna, en la Constitución del Estado de México, y las demás disposiciones legales.

Además en el artículo 139 de dicha constitución estatal, en la fracción II, está descrito que los gobiernos Estatal y Municipal deben coordinarse para planear y ejecutar acciones en distintas materias, entre ellas la recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos.

Asimismo el Congreso del Estado de México, tiene la capacidad de formular las disposiciones legales como el “Código para la Biodiversidad del Estado de México”, donde en su Libro Cuarto, regula la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de México.

El libro cuarto del referido código incluye todo lo relacionado al manejo de residuos sólidos urbanos desde la distribución de competencias, políticas de manejo y sus instrumentos, obligaciones de la población, separación diferenciada de residuos, servicio de limpia, recolección de residuos, su reutilización y su aprovechamiento.

Ahora bien, del título cuarto “de la generación de residuos”, del código estatal, se desprende que entre las obligaciones generales de toda la población, esta que debe hacerse responsable de los residuos que genera ya que son de su propiedad, hasta que el sistema de recolección de basura proceda a llevárselos. También la población en general está obligada a barrer banquetas, mantener limpias las áreas comunes, separar los residuos según su clasificación, entre otras. Asimismo en el artículo 4.45 están descritas las violaciones a la ley, que ameritan sanciones en caso de infringirlas.

Del referido libro cuarto del Código para la Biodiversidad, se desprende el Reglamento del Libro Cuarto del Código para la Biodiversidad del Estado de México, el cual tiene por objetivo detallar las acciones que deben tomar las autoridades y la población en la disminución, generación, prevención y disposición de los RSU en el estado.

El referido reglamento señala las estrategias para la minimización de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, la clasificación de éstos y cuáles son obligatoriamente sujetos a un plan de manejo. En el título séptimo “PLANES DE MANEJO” se establecen las disposiciones a las que un generador de residuos debe seguir para la planeación, desarrollo y ejecución del manejo de residuos.

Normas técnicas ambientales del Estado de México

En el Estado de México se han expedido las Normas Técnicas Estatales, las cuales obligan a las personas morales o físicas, a cumplir las disposiciones relativas a ciertas actividades que se realizan dentro del estado. En materia de residuos, las normas técnicas se enfocan en regular a la plantas de acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, como las siguientes:

La NTEA-006-SMA-RS-2006, que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos, la cual es de observancia obligatoria para toda persona física o jurídica colectiva que opere una planta de producción de mejoradores de suelo. Sin embargo, no se menciona expresamente que dicha norma sea obligatoria para las personas que utilizan la composta para su autoconsumo.

La NTEA-010-SMA-RS-2008, que establece los requisitos y especificaciones para la instalación, operación y mantenimiento de infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México.

La NTEA-013-SMA-RS-2011, que establece las especificaciones para la separación en la fuente de origen, almacenamiento separado y entrega separada al servicio de recolección de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México.

Normatividad municipal

Para el municipio de Tlalnepantla de Baz, que es donde se encuentra ubicada la FESI, existe un bando municipal del año 2016 donde las disposiciones son de carácter reglamentario y administrativo para garantizar el desarrollo material, social, educativo y cultural de los habitantes del municipio. En materia de residuos, en el capítulo primero “Derechos y Obligaciones de la Población Municipal” en el artículo 17 en las fracciones once y doce, se hace mención de las acciones que ameritan sanciones, entre ellas la de depositar o arrojar residuos de cualquier tipo en la vía pública. Por otra parte, en la fracción treinta y ocho del mismo artículo, para el manejo de residuos, se precisa que se deberá colaborar con las autoridades correspondientes en cuanto a la información que se brinda y las respectivas autorizaciones.

Además el municipio cuenta con el Reglamento de Servicio Público de Limpia y Disposición de Desechos, que en su artículo 3 de menciona que la Dirección de Servicios Públicos tiene bajo su cargo la aplicación de dicho reglamento, mientras que en el artículo 7 se le atribuyen ejecutar las acciones necesarias para el óptimo funcionamiento de los servicios públicos de limpia y disposición de desechos sólidos, así como la de participar, promover, asesorar y atender a la comunidad de Tlalnepantla en este rubro. Por otra parte, en el artículo 10, el servicio público de limpia tiene como actividades el barrido, la recolección y la disposición de residuos provenientes de la vía pública, de los domicilios y de particulares. En cuestión de residuos sólidos urbanos, en el artículo 8 en la fracción VI, se prescribe la obligación de los habitantes las cuales son: conservar limpias la calles o área frente a su domicilio, separar los residuos en orgánicos e inorgánicos, depositar los residuos con el servicio de limpia, y participar a los llamados por parte del municipio en las actividades correspondientes en el ámbito de residuos.

El manejo de los RSU son de competencia exclusiva de los gobiernos municipales. En el Estado de México los generadores de estos residuos deben depositarlos selectivamente en orgánicos e inorgánicos. Los grandes generadores, aquellos que producen más de 10 toneladas al año, deben tener un plan de manejo. Los residuos orgánicos generados en el municipio de Tlalnepantla, deben ser separados de los residuos inorgánicos y posteriormente entregarlos al servicio público de limpia para que sean transportados a los rellenos sanitarios. O bien, si son grandes generadores de dichos residuos orgánicos, deben elaborar un plan de manejo.

La composta

La composta es un material orgánico que se obtiene como resultado de la interacción de factores químicos, físicos y biológicos, los cuales, si se encuentran en equilibrio, generan las condiciones óptimas para la degradación aeróbica de la materia orgánica, a causa de las reacciones bioquímicas generadas por los microorganismos presentes en ese ambiente, para que los compuestos orgánicos sean mineralizados a moléculas inorgánicas o a sustancias húmicas (Figura 1). Este proceso ocurre de manera natural, pero con la intervención del ser humano puede acelerarse (FAO, 2013).



Figura. 1. Desechos del comedor y de jardinería transformados en composta por acción de los microorganismos. Fuente: propia.

Los residuos orgánicos son todos aquellos materiales ricos en carbón, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, de origen natural como por ejemplo restos de frutas y verduras, aserrín, residuos de poda y de jardinería, estiércol, restos de comida, etc. (Figura 2), excluyendo cualquier residuo procesado o que sea inorgánico (SEMARNAT, 2006). Si esta fracción orgánica de los RSU, es manejada de una manera adecuada, no generará malos olores y no atraerá fauna nociva, se obtendrá una composta de buena calidad, que puede ser de utilidad para la producción de hortalizas, plantas ornamentales o servir de alimento para la cría de lombrices de tierra.



Figura. 2. Fracción orgánica de los RSU (FORSU), antes de ser procesada. Nótese la diversidad de sus componentes. Fuente: propia.

¿Qué hay en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos?

En la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos existen diferentes componentes que la integran, y son de suma importancia para los microorganismos, debido a que la utilizan como fuente de alimento y como base estructural para la construcción de sus paredes celulares, la síntesis de ácidos nucleicos, entre otras funciones, contribuyendo al proceso de mineralización.

En esta fracción orgánica se han identificado grupos de sustancias orgánicas, como carbohidratos, compuestos fenólicos y nitrogenados, así como lípidos, ácidos orgánicos, vitaminas, hormonas, alcaloides y pigmentos. Todos los grupos mencionados provienen de los restos vegetales como por ejemplo la hemicelulosa, la celulosa y el almidón (carbohidratos); la lignina y taninos (compuestos fenólicos); proteínas, oligo y polipéptidos, aminoácidos y ácidos nucleicos (compuestos nitrogenados); así como la glicerina y ácidos grasos (Zúñiga, 2003).

Con la combinación adecuada de los distintos tipos de residuos orgánicos, los compuestos antes mencionados se pueden aprovechar de una manera más eficiente, para obtener nutrientes, que se encuentren disponibles para los organismos que lo requieran.

La mineralización

Toda la materia orgánica, debido a la degradación microbiana sufre un proceso de mineralización, donde todas las moléculas orgánicas, pasan a formas inorgánicas solubles como PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , NO_3^- , así como a estados gaseosos como el CO_2 y NH_4^+ , sin embargo en esta mineralización se pueden reconocer tres categorías: primaria, secundaria y terciaria (Zúñiga, 2003). En la mineralización primaria la materia orgánica fresca está en proceso de incorporación al suelo o está parcialmente descompuesta. En la mineralización secundaria la materia orgánica se encuentra transformada, es decir, todos aquellos restos de plantas y animales perdieron sus propiedades físicas con las que contaban al inicio. Además que por efecto de la descomposición, sus componentes han sido oxidados por los microorganismos y fueron sintetizados a compuestos más simples como ácidos orgánicos, hidratos de carbono, aminoácidos, etc. Para la mineralización terciaria podemos considerar a aquellas sustancias húmicas de elevado peso molecular, que están integradas en la dinámica del suelo y por lo general son resistentes a una descomposición por los seres vivos, ya que en general su degradación es más lenta, debido a su complejidad y a que los enlaces moleculares con los componentes minerales retardan la mineralización.

Fases de la producción de la composta

Durante todo el proceso de compostaje, los microorganismos encargados de degradar los componentes orgánicos, lo hacen en cuatro diferentes etapas con características específicas que en seguida referimos: la fase mesófila I, la fase termófila o de higienización, la fase de enfriamiento o mesófila II, y la fase de maduración (FAO, 2013).

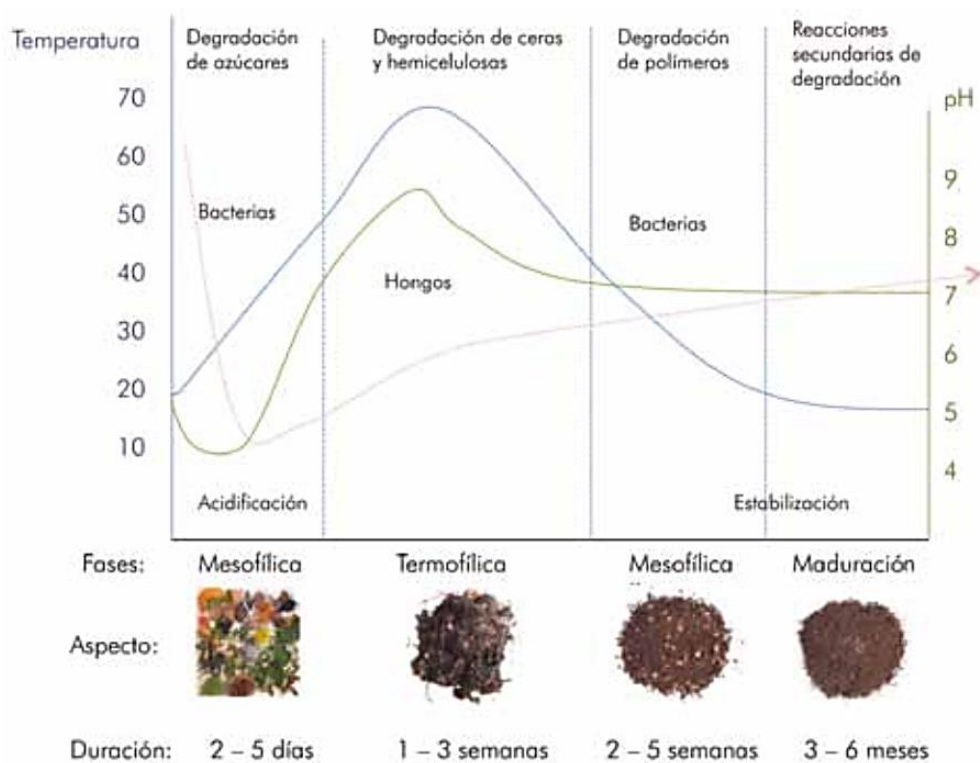


Figura. 3. Etapas del proceso de mineralización en el composteo. Fuente: FAO 2013

1. Fase Mesófila I. Esta es la primera etapa del compostaje, en donde los microorganismos aprovechan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno. Como consecuencia de la actividad microbiológica, se degradan los diferentes compuestos orgánicos, incrementa la temperatura, se producen ácidos orgánicos y, por tanto, una disminución del pH. Esta fase comienza desde el primer día y puede alcanzar la fase termófila en cuestión de horas, pero regularmente puede demorar hasta tres días.

2. Fase Termófila o de Higienización. En esta etapa, la materia orgánica en descomposición alcanza temperaturas mayores a 45°C, ya que hay una rápida sucesión de microorganismos. En esta etapa la microbiota mesófila que consigue un desarrollo óptimo a temperaturas medias, es reemplazada por la microbiota termófila, la cual crece rápidamente a altas temperaturas. Los microorganismos termófilos facilitan la degradación de fuentes más complejas de carbono, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, por lo que el pH del medio sube. Al alcanzar los 60 °C comienzan a desarrollarse bacterias que son las encargadas de descomponer fuentes de carbono más complejos. La duración de esta fase llega a ser de unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización, ya que el aumento de temperatura destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, además de eliminar los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en la materia orgánica inicial, dando lugar a un producto higienizado.

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

4. Fase de Maduración. Es un período que puede durar meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Factores abióticos en la composta

Mediante el monitoreo y control de los parámetros más importantes del proceso de composteo, se obtiene una composta con las características adecuadas para poder ser aplicada a nuestros suelos. ¿Pero cuáles son estos parámetros?, son aquellas variables físicas, químicas y biológicas que interactúan con el medio y pueden ser medidas y representadas por un valor numérico. Para la composta, los parámetros más determinantes son la relación carbono nitrógeno (C/N), la temperatura, la humedad y la aireación o ventilación (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros abióticos en la composta y su importancia. Elaboración propia.

	Relación C/N	Temperatura (°C)	Aireación
Rango ideal	De 25:1 a 40:1	De 55°C a 77°C	De 45% a 70%
Importancia	Influye en la elevación de temperatura y la velocidad de degradación.	Elimina los patógenos que se encuentran en la composta.	Acelera el proceso de degradación microbiológica.

Relación C/N

Esta relación representa la cantidad de carbono y nitrógeno presente en la materia orgánica, tanto al inicio como al final del proceso, ya que para obtener una buena temperatura y el proceso de composteo sea el adecuado, es importante conocer qué residuos compostaremos y en qué proporción, porque según Félix *et al.* (2010), un solo tipo de residuos o la combinación de dos o más de ellos, influye en la relación C/N, afectando significativamente la velocidad de degradación, la actividad microbiana, así como las propiedades nutrimentales que contiene la composta.

Para dicha relación existe un rango de entre 25:1 a 40:1 (USDA, 2013). Éste es un factor muy importante porque determinará la cantidad de materia asimilable para los microorganismos que existe en el medio, ya que éstos consumirán las fuentes de carbono y nitrógeno. Aunque se ha reportado que incluso una relación C/N de 50 y 62 no ha sido problema para que el proceso se lleve de manera efectiva (Sauri *et al.*, 2002).

De acuerdo con lo anterior, Félix *et al.* (2010) concluyó que si se tiene una relación C/N alta, el proceso de humificación es más lento, con mayor contenido de materia orgánica, con ácidos húmicos y fúlvicos, carentes de nutrientes para la planta. Por el contrario, si la relación C/N es baja, hay mayor contenido de nutrientes disponibles, pero menos concentración de materia orgánica.

La obtención de esta variable está en función del material que se utilice al inicio del proceso de composteo, por lo que es recomendable hacer los cálculos de acuerdo a las tablas que contienen un estimado del contenido de carbono y nitrógeno que contiene cada tipo de material (Figura 4). La necesidad de hacer este cálculo, además de ser un requisito para un buen compostaje, es que mediante esta herramienta se minimiza la producción de malos olores por exceso de nitrógeno y falta de carbono (SEMARNAT, 2006).

Material	Composición aproximada		
	% N	% C	% H ₂ O
Residuos verdes			
Residuos mezclados de rastros	2.550	5.10	70
Lodos activados crudos	1.400	8.82	75
Estiércol de aves de corral	0.315	4.73	95
Lodos activados digeridos	0.470	7.38	75
Estiércol de vaca	0.170	3.06	90
Estiércol de cerdo	0.300	6.00	92
Pasto	0.645	12.96	70
Maleza acuática	0.078	1.64	96
Estiércol de oveja	0.938	20.63	75
Estiércol de caballo	0.230	5.75	90
Residuos de fruta	0.380	13.22	75
Paja de avena	0.735	35.28	30
Fracción orgánica de RSU	0.189	9.58	65
Hojas caídas recientemente	0.300	18.00	60
Paja de trigo	0.210	26.88	30
Residuos de aserraderos	0.098	16.58	25
Residuos café			
Papel mezclado	0.235	40.66	6
Aserrín	0.080	28.00	20
Revistas comerciales	0.067	31.26	5
Madera	0.056	40.49	20
Papel periódico	0.047	46.20	6
Papel estraza	0.010	42.66	5
Agua	0.000	0.00	100

Figura 4. Materiales recomendados con su contenido aproximado de carbón, nitrógeno y humedad para realizar composta. Fuente: SEMARNAT, 2006.

Temperatura, humedad y ventilación

Estas variables son muy importantes ya que mediante éstas, se garantiza que los organismos patógenos como bacterias (*Salmonella spp*, *Escherichia coli*), hongos, quistes y huevos de helminto presentes en la materia prima para elaborar la composta, sean eliminados por las altas temperaturas que se generan en dicho sistema (FAO, 2013). Según la USDA (2013) la temperatura establecida es de entre 55° y 77°C que debe permanecer durante tres días, utilizando un sistema de composteo cerrado. En el sistema de apilamiento dicha temperatura debe conservarse quince días con mínimo cinco volteos en ese lapso de tiempo.

Para que esto ocurra, debe existir una relación C/N entre los rangos óptimos, aunque puede variar ya que Sauri *et al.* (2002) reportaron valores altos de esta relación, registrando temperaturas que oscilaban de los 53° C a los 62°C durante periodos de una a dos semanas, con una humedad del 45 a 70%, que se controló durante todo el experimento, además la influencia sobre la temperatura se vio beneficiado por el constante suministro de aire mediante el volteo manual.

Velasco *et al* (2004) mencionan que la ventilación manual es más eficaz que la ventilación forzada, porque la primera técnica presentó temperaturas mayores a 50°C y 60°C durante la mitad del proceso, con un decremento de hasta 40°C por efecto del volteo, que una vez culminado ascendía nuevamente. Mientras que la segunda técnica presentó una tendencia negativa al decrecer la temperatura constantemente durante todo el experimento. Cabe mencionar que la humedad que registraron fue de entre un 65 a 72% a lo largo del proceso de compostaje.

Factores bióticos

Como se ha mencionado anteriormente, los microorganismos juegan un rol esencial en el proceso de composteo, ya que degradan los compuestos orgánicos ahí presentes, por ejemplo los hongos, que se desarrollan en un pH ácido comienzan a degradar las fuentes de carbono orgánico que las bacterias no lograron consumir, dando pauta a una sucesión microbiana, en la cual las bacterias disminuyen y la población de hongos aumenta (Santamaría *et al.*, 2001).

Además la abundancia de ciertas moléculas orgánicas aumenta o disminuye significativamente la población microbiana o fúngica como lo reportan Félix *et al.* (2010), donde la combinación de todas las compostas que realizaron, presentaron la mayor concentración ácidos húmicos y fúlvicos, y con ello, la mayor abundancia de hongos y bacterias degradadoras de quitina, celulosa y pectina. Esto debido a la presencia de estas moléculas que estimulan directamente la actividad de los microorganismos.

Residuos para la elaboración de la composta

Para su elaboración se han utilizado por mucho tiempo diferentes tipos de residuos orgánicos, los cuales han sido clasificados en material verde y material café (Figura 5). Los primeros son restos de frutas y verduras, así como plantas o malezas. El segundo, alberga la hojarasca o restos de jardinería, aserrín, semillas, estiércol, etc. Por último, y no menos importante, están los restos de comida, ya sea carne, pasta, grasas, lácteos, etcétera, que se añaden en pequeñas cantidades (SEMARNAT, 2006).

	Residuo	Observaciones
Cafés	Aserrín, virutas de madera	No usar si proviene de madera tratada con productos químicos
	Hojas perennes (no se caen en el otoño)	Es mejor añadir las picadas
	Hojas secas	Se recogen en otoño para utilizarlas todo el año
	Paja y heno	Picar y mojar. Favorecen la aireación
	Pasto cortado y seco	Cuando es necesario material café, se puede secar al sol el pasto recién cortado
	Podas de árboles	Ayudan a la aireación. Deben ser cortadas en astillas menores a de cm.
Verdes	Cítricos	Se requiere de buena aireación
	Estiércol de animales herbívoros	Muy útil si se requiere de materiales verdes
	Frutas, verduras, residuos de comida	Picar en trozos pequeños, principalmente las cáscaras
	Hojas y bolsas de té	Esparcir dentro de la mezcla
	Maleza verde	Pasteurizarla al sol dentro de una bolsa negra durante 7 a 10 días para eliminar semillas
Pequeñas cantidades	Pasto verde	Mezclar con materiales secos. No usar si tiene pesticidas.
	Aceites, grasas y productos lácteos	Al podrirse generan malos olores
	Carne, hueso, pescado	Generan malos olores y atraen roedores y moscas
	Papel sin tinta	Se degrada lentamente; cortar en tiras
Riesgo sanitario	Excremento de animales carnívoros y humano	Contienen microorganismos peligrosos para la salud
	Plantas enfermas	La composta resultante puede seguir infectada
	Malezas y plantas persistentes	Las plantas con raíces persistentes y malezas con semillas son muy difíciles de pasteurizar

Figura 5. Clasificación de residuos para el compostaje. Fuente: SEMARNAT, 2006.

Sistemas de composteo

Con el propósito de poder ejecutar un buen composteo es necesario conocer la cantidad de residuos orgánicos a compostear, el espacio con el que se cuenta y la velocidad con la que se quiere degradar, para que de esta manera podamos obtener el sistema adecuado para producir un buen producto en el menor tiempo posible, así como con el menor esfuerzo físico.

Para cantidades pequeñas a compostear y que el volteo sea más accesible, se pueden utilizar botes o composteras, como en el caso de la composta que se realiza en viviendas, que cuentan con un área pequeña. Las pilas son recomendadas para grandes cantidades de desechos, donde se requiere maquinaria o más personal para el volteo y además se cuenta con grandes espacios de terreno.

También es necesario conocer las demandas que se requieran para la obtención de composta, ya que existen dos tipos de compostaje, en función del tiempo que tarda el proceso. El compostaje lento, el cual no necesita volteo, ya que todo es degradado de forma anaeróbica, aunque su desventaja es que el proceso de descomposición puede durar más de un año en completarse. El otro tipo es el compostaje rápido, que consiste en voltear la mezcla constantemente para airearla y que los microorganismos que están en ella puedan obtener oxígeno y degradar la materia orgánica (SEMARNAT, 2006).

Sistemas abiertos o en pilas

Se conoce como sistema abierto o pilas, a la técnica de compostaje en el cual la materia orgánica está expuesta directamente al medio y se utiliza cuando los residuos que se someterán a tratamiento son en grandes cantidades. Se realiza sobre la superficie del suelo, en caso de que se requiera recuperar los lixiviados la pila se coloca sobre una lámina, losa o cualquier material firme que esté entre el suelo y la mezcla (FAO, 2013) (Figura 6).

Se coloca la materia orgánica en capas y se cubre con tierra para al final de esta, humedecer toda la pila y colocar un plástico o lona de tal manera que evite que cuando llueva se sature de agua, y por otra parte se asegura que la pérdida de humedad será mínima. Las ventajas de este sistema es que se puede realizar un manejo más eficaz y es más fácil de monitorear los parámetros de humedad, temperatura (FAO, 2013).



Figura 6. Compostaje en pila, en tres etapas de degradación. Fuente: PROMIR.

Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados son aquellos en donde se utilizan recipientes como botes, tambos o cajas (Figura 7) para elaborar la composta, este modelo es favorable debido a que protege de factores climáticos y de fauna nociva a toda la mezcla, además que se puede realizar un volteo más fácil e incluso se pueden recuperar los lixiviados (FAO, 2013).

El método utilizado comúnmente es el de depositar los materiales en capas, la primera capa son de residuos cafés, la segunda capa son de residuos verdes con residuos de comida, y así consecutivamente hasta el llenado del contenedor (SEMARNAT, 2006). Posteriormente para el volteo se vacía el contenido para que sea triturado y aireado. Al terminar se vuelve a depositar el material a compostear en el contenedor correspondiente, repitiendo el mismo proceso hasta obtener una composta madura.



Figura 7. Compostaje en tambos. Fuente: PROMIR.

La lombricultura

Es una biotecnología que se originó en Estados Unidos a principio de la décadas de los años cuarenta, la cual consiste en aprovechar la composta que se obtiene a partir del tratamiento de los residuos orgánicos, como alimento para la crianza masiva, sistemática y controlada de lombrices que ingieren, transforman, mineralizan y convierten en abono toda materia orgánica (Fuentes, 1987).

Dicha actividad puede realizarse en casa o en un terreno de grandes dimensiones, utilizando contenedores o construyendo lechos, siempre y cuando se sigan los pasos que se mencionarán más adelante. Claro que la producción dependerá del espacio disponible, la cantidad de composta, y el personal de trabajo con el que se cuente (Montes de Oca y Ruíz, 2004).

Existen diferentes especies de lombrices de tierra que se utilizan en la lombricultura como *Eisenia. foetida* y *E. andrei*, que son la más utilizadas a nivel mundial. Existen otras especies, pero que son utilizadas en climas templados, entre ellas destacan *Dendrodrilus rubidus*, *Dendrobaena veneta*, *Lumbricus rubellus* y *Drawida nepalensis*. Por otro lado, en áreas tropicales están *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*, *P. sansibaricus*, *Drawida willsi*, *Polypheretima elongata* y *Lampito mauritii* (Domínguez y Gómez, 2010).

La lombriz de tierra

Las lombrices de tierra son organismos terrestres, que habitan debajo de la tierra, hojarasca o piedras, en climas tropicales-templados, ya que necesitan un suelo húmedo y con materia orgánica para su alimentación, crecimiento y reproducción, evitando los climas fríos y desérticos; por ello es que en selvas y bosques hay mayor diversidad de estos animales (Fragoso y Rojas, 2014).

En México se han reportado 102 especies de lombrices, las cuales están divididas en 51 nativas y 51 exóticas (Fragoso y Rojas, 2014), éstas a su vez son estudiadas por categorías ecológicas, gremios funcionales y su taxonomía. El estudio ecológico de las lombrices consiste en describir el hábitat donde reside la lombriz, las cuales han sido divididas en tres grupos: las lombrices epigeas, que habitan en la superficie del suelo, bajo la hojarasca y generalmente son pigmentadas; las endogeas, que viven enterradas en el suelo y son poco pigmentadas, alimentándose principalmente de tierra y de acuerdo a la cantidad que ingieran se les subdivide en polihúmicas, mesohúmicas y oligohúmicas; y por último las anécicas que viven en galerías verticales y suelen salir para alimentarse de materia orgánica en descomposición (Fragoso, 2001).

Estos organismos juegan un rol ambiental muy importante debido a que son fundamentales en la mineralización y el reciclado de nutrientes, mediante el consumo y la transformación de la materia orgánica, evitando la acidificación y mantenimiento de la estructura del suelo. Son tan importantes para el suelo que pueden llegar a representar el 30% y en ocasiones hasta 83-84% de la biomasa total de la macrofauna edáfica, dependiendo el clima y el ecosistema en el que se encuentre (Brown *et al.*, 2001).

Características taxonómicas de las lombrices de tierra

La taxonomía tiene como objetivo la clasificación de los organismos en jerarquías o taxones, atribuyéndoles un nombre a un grupo de organismos que comparten ciertas características morfológicas en particular, asignándoles un nombre científico, el cual es de gran importancia para los estudios de biodiversidad y ecología, permitiendo evaluar y cuantificar la riqueza de especies, y no sólo eso, sino también el descubrimiento de otras nuevas (Iriondo, 2000).

La lombriz de tierra pertenece al phylum *Annelida*, el cual comprende dos clases: la Clase *Polychaeta* que alberga 25 órdenes y 87 familias que son representados en su mayoría por gusanos marinos y de aguas salobres, los cuales, poseen gran cantidad de quetas y podios para su locomoción, así como órganos sensoriales. La segunda clase es la *Clitellata*, en donde existen dos subclases: la subclase *Hirudinoidea*, que es representada por las sanguijuelas, con un cierto número de segmentos y con pocas quetas o sin ellas, poseen un clitelo, dos ventosas, una anterior y otra posterior. La subclase *Oligochaeta*, que son las lombrices de tierra, con quetas muy reducidas o ausentes, así como la ausencia de órganos sensoriales y la presencia de clitelo (Brusca y Brusca, 2005).

Anatomía externa

Son animales triblásticos, es decir, que en su desarrollo embrionario posee las tres capas germinativas (endodermo, mesodermo y ectodermo) que formarán a la lombriz. Dentro de su cuerpo hay una cavidad entre el tubo digestivo y la pared del cuerpo llamado celoma; su cuerpo es alargado, cilíndrico y bilateralmente simétrico.

Todo su cuerpo está conformado por metámeros, los cuales segmentan todo su cuerpo, dando la apariencia de anillos que conforma el metastomio (Figura 8) y cada metámero es igual (segmentación homónoma), ya que generalmente contiene quetas y glándulas, sin embargo, hay metámeros especializados que albergan los poros masculinos y femeninos, los nefridioporos, los tubérculos pubertarios y el clitelo, y pueden variar según la especie. (Moreno et al., 2012).

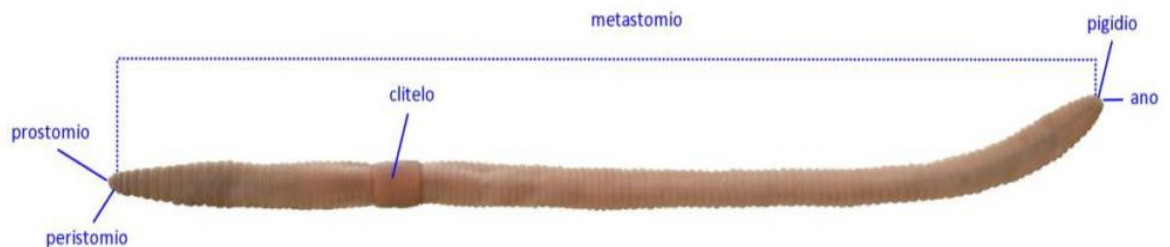


Figura 8. Cuerpo completo de una lombriz. Fuente. Moreno *et al.*, 2012.

El prostomio se encuentra en la parte antero-apical junto con el peristomio formando la cabeza de la lombriz y se encuentra antes del primer metámero, llamada también zona presegmentaria, ya que no forman un segmento verdadero. No posee apéndices. Su boca se encuentra en el peristomio (Brusca y Brusca, 2005). Esta zona es de mucha importancia en la taxonomía debido a que según la forma que tenga la diferencia de otras especies (Figura 9).

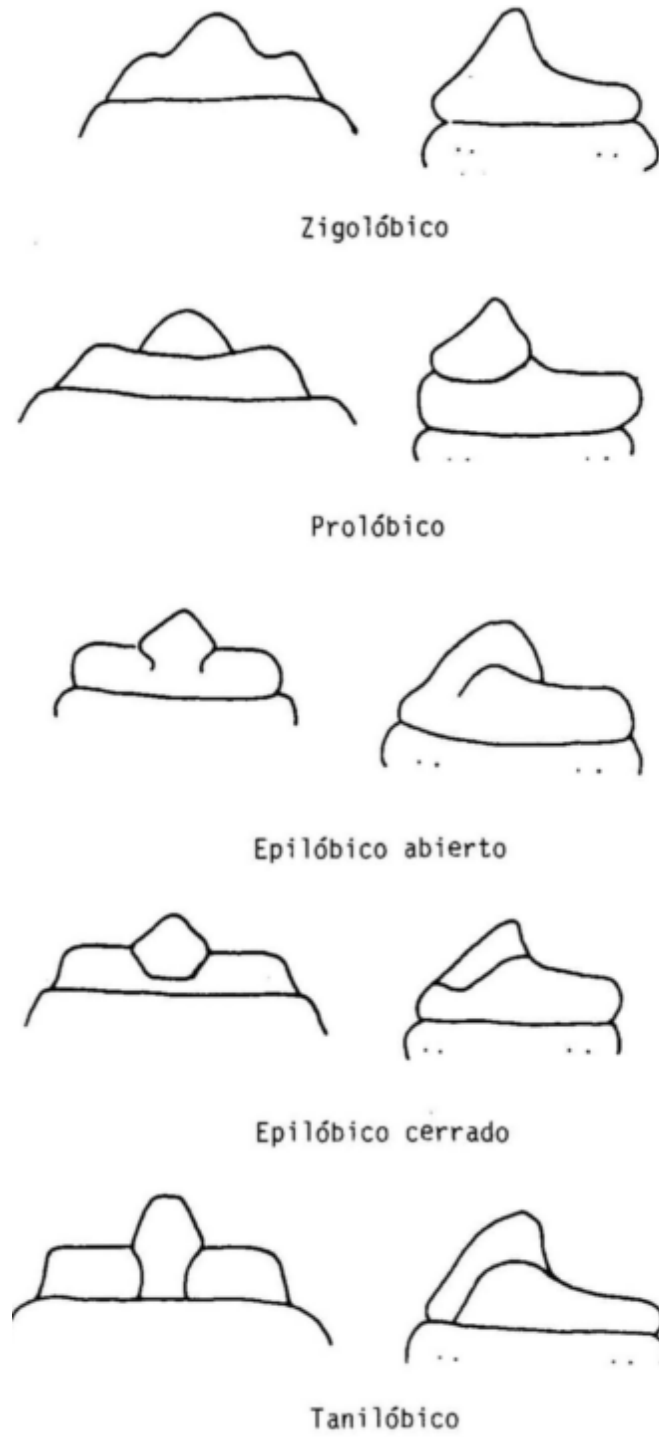


Figura 9. Tipos de prostomios. Fuente: Lainez y Jordana, 1987.

Otra característica importante es la presencia de quetas o sedas, las cuales son estructuras parecidas a espinas que provienen de una célula epidérmica (Figura 10). En los oligoquetos, generalmente se encuentran ocho quetas por cada metámero: un par de sedas ventrales, un par de sedas lateroventrales, un par de sedas laterodorsales y un último par de sedas dorsales (Zaballos y Moreno, 2009). Estas sedas son utilizadas para ejercer un anclaje, ya que al carecer de podios o de otro tipo de órgano de locomoción, le ayuda a sujetarse al sustrato y, en conjunto con su esqueleto hidrostático es posible su desplazamiento (Brusca y Brusca, 2005). La disposición de las sedas varía según la especie de lombriz, ya que existe la disposición lumbricina y la periquetina. El orden entre las quetas puede ser separadas o pareadas como se muestra en la figura 11 y figura 12 (Lainez y Jordana, 1987; Zaballos y Moreno, 2009).

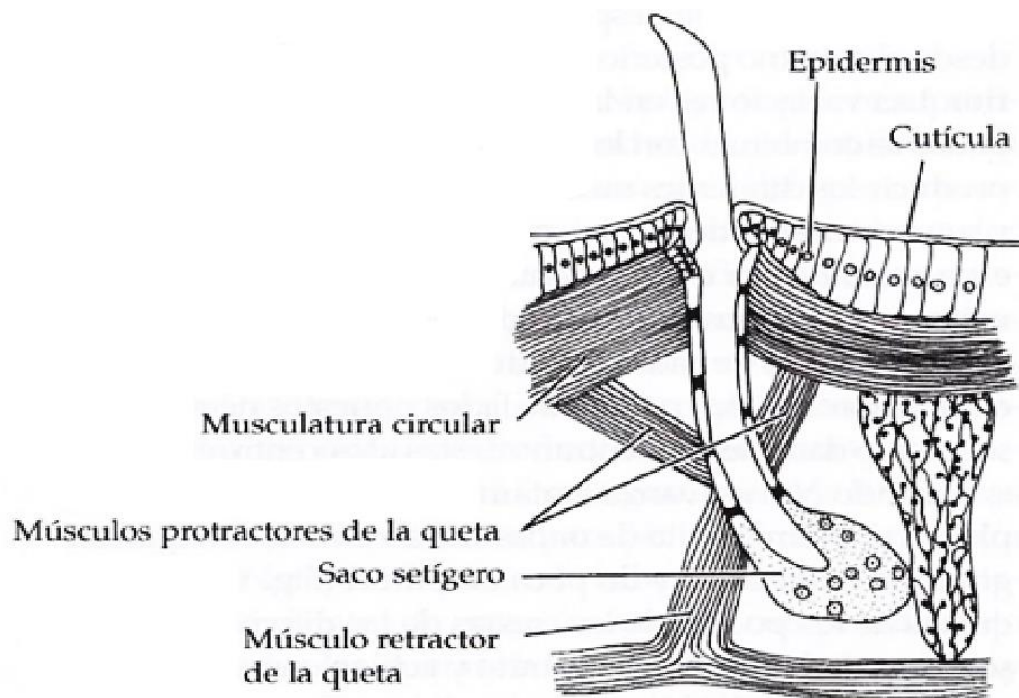


Figura 10. Representación anatómica de una queta. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

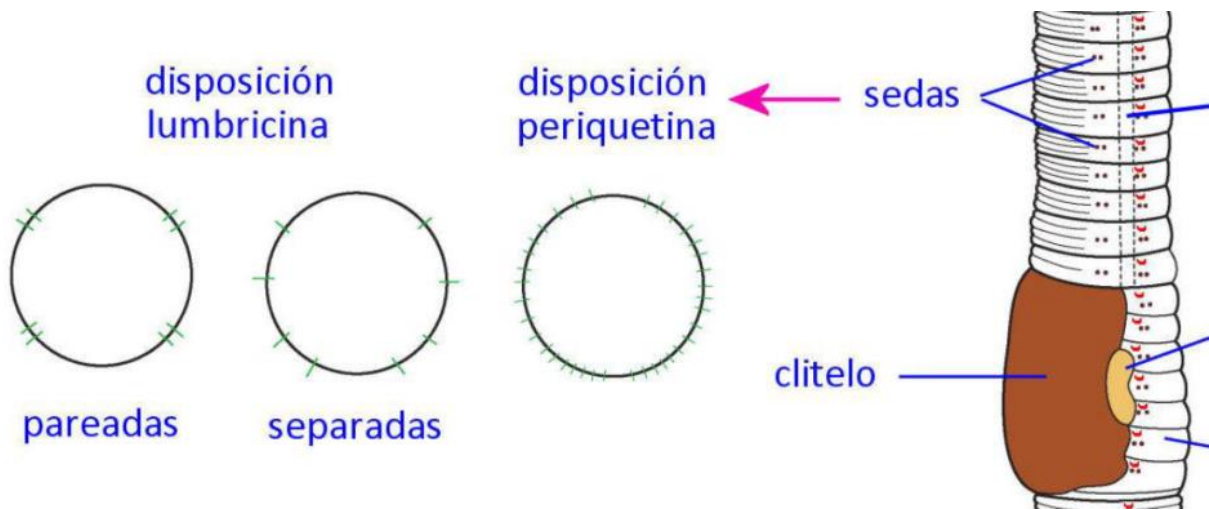


Figura 11. Disposición de las quetas o sedas. Fuente: Zaballos y Moreno, 2009.

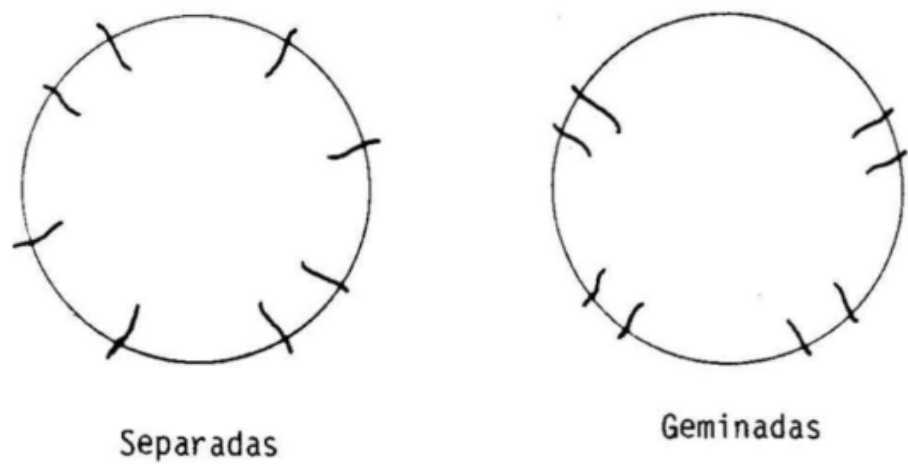


Figura 12. Orden de las quetas. Fuente: Lainez y Jordana, 1987.

Un rasgo fundamental en la sistemática en cuestión a la identificación de especies, es el clitelo, el cual, es una región conformada por células glandulares epidérmicas. Esta zona se caracteriza por el engrosamiento de un número determinado de metámeros, y puede poseer una forma de anillo que rodea longitudinalmente el cuerpo de la lombriz, o la forma de una silla de montar que abarca sólo la parte dorsal y lateral (Lainez y Jordana, 1987). Cabe mencionar que a los costados del clitelo se presenta un engrosamiento en forma de abultamiento que reciben el nombre de pubérculos pubertarios (Figura 13).

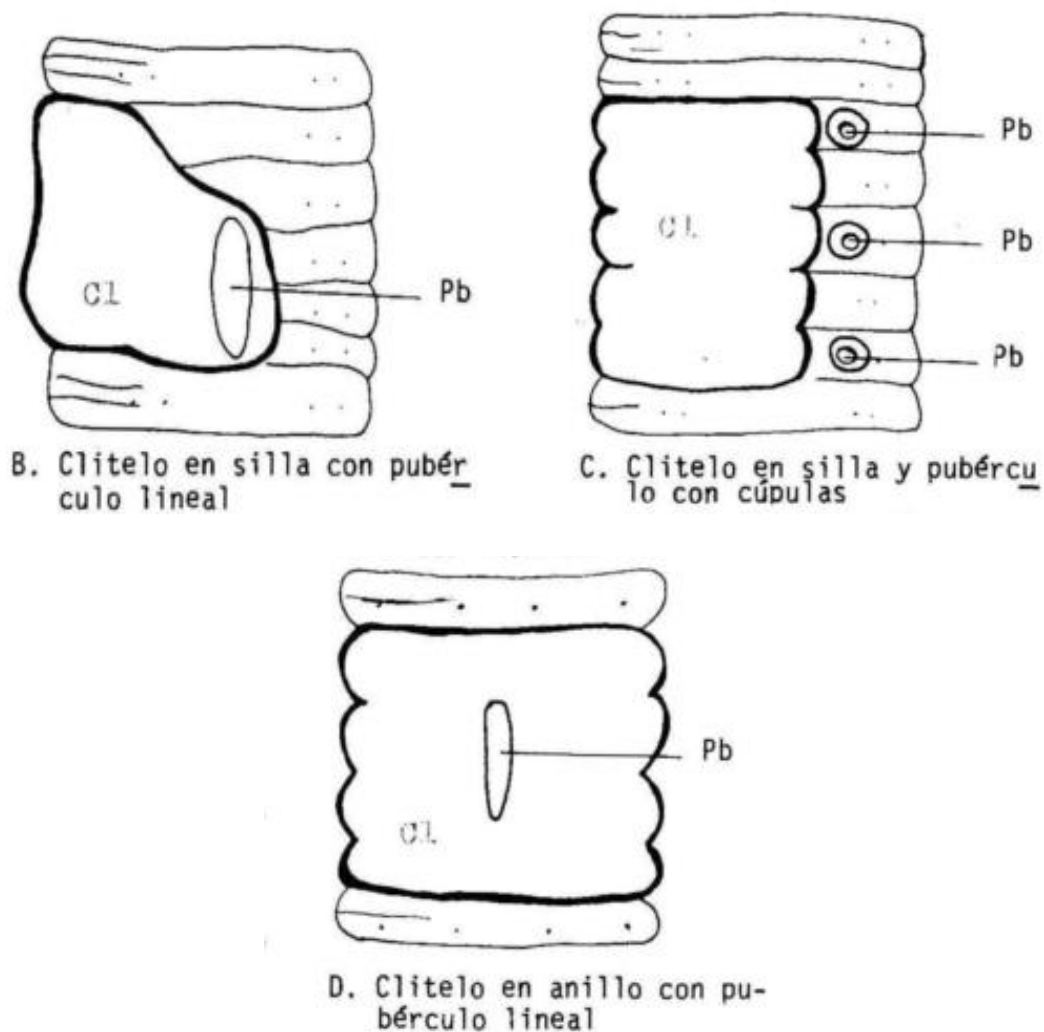


Figura 13. Diferentes tipos de clitelo y pubérculos. Fuente: Modificada de Lainez y Jordana, 1987.

El clítelos está relacionada con la actividad reproductiva porque produce los capullos o huevos, ya que posee tres tipos de células glandulares (Figura 14): las excretoras de moco, que permiten la cópula; las que forman la cubierta externa del capullo, huevo o cocón; y las encargadas de añadir la albúmina necesaria para los cigotos que se desarrollarán en el interior del capullo (Brusca y Brusca, 2005).

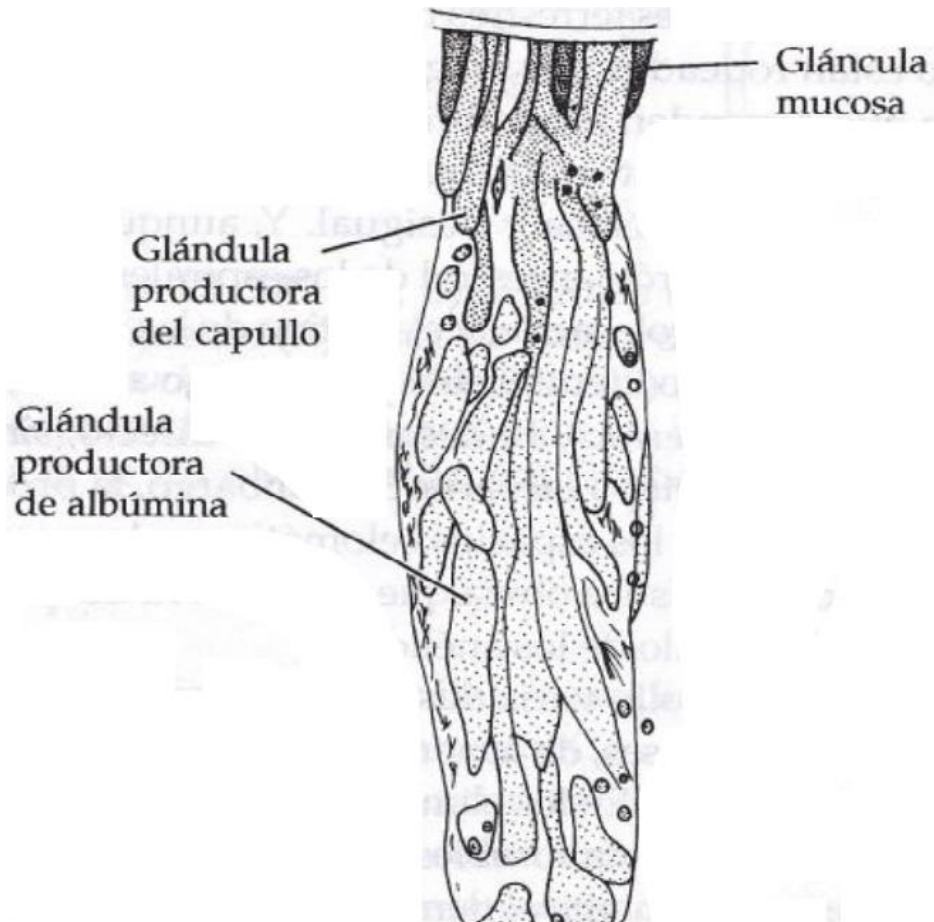


Figura 14. Corte de la pared epitelial del clítelos mostrando los tres tipos de glándulas. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

Como se mencionó anteriormente, hay metámeros modificados para funciones específicas como la reproducción (poros masculinos y femeninos) y las espermatecas. Los poros masculinos son engrosados y su función es servir de salida a los espermatozoides, ya que están conectados con las vesículas seminales a través de los espermiductos y los embudos seminales. Los poros femeninos carecen de reborde y están unidos a los ovisacos mediante un oviducto para la expulsión de óvulos. Las espermatecas son depósitos de espermatozoides (Brusca y Brusca, 2005). Ambos poros se encuentran en la zona latero-ventral en la parte anterior de la lombriz (Figura 15).

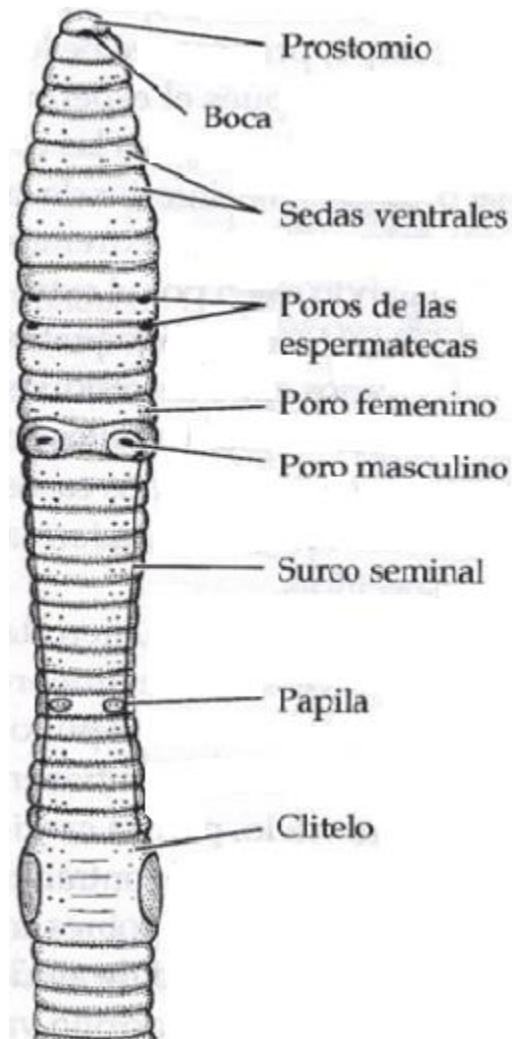


Figura 15. Vista ventral del cuerpo de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

Anatomía interna

Por otro lado, su anatomía interna consta de un sistema muscular, el cual se compone de músculos circulares y longitudinales, y junto con las quetas desempeña la locomoción. Cuenta con un tubo digestivo dividido en cavidad bucal o boca, faringe, esófago e intestino. El esófago se divide en buche, molleja y glándulas calcíferas (Figura 16).

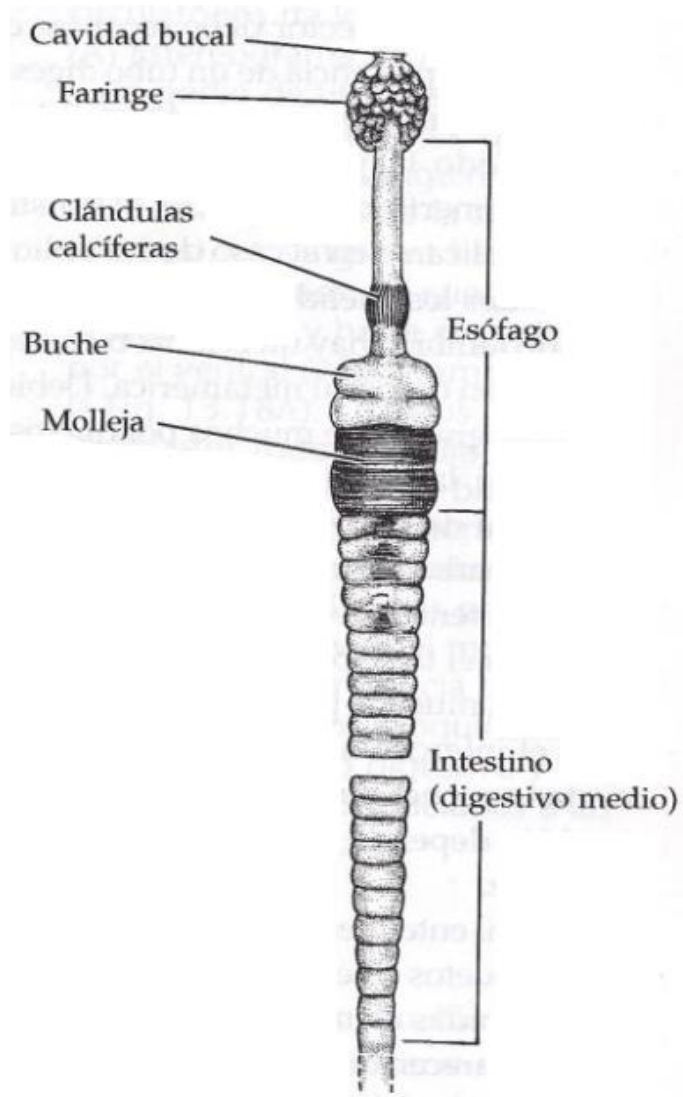


Figura 16. Tubo digestivo de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

Su sistema circulatorio consta de tres vasos sanguíneos, el vaso dorsal, el vaso ventral y el vaso subneural, que están conectados entre sí por vasos comisurales y la sangre fluye gracias a la contracción de los músculos de los vasos y a los vasos periesofágicos (corazones laterales) (Figura 17). Además cuentan con sistema nervioso conformado por ganglio cerebroideo conectado a una cadena nerviosa (Figura 18) (Brusca y Brusca, 2005).

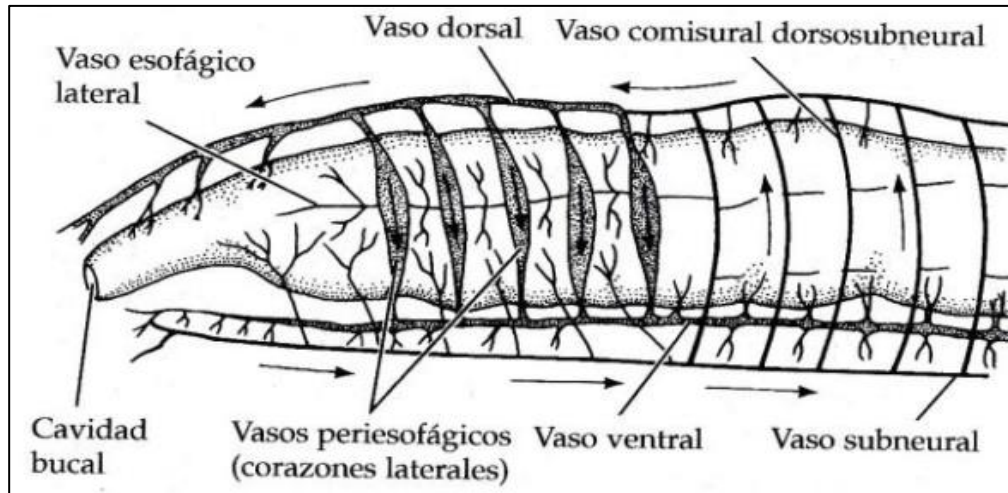


Figura 17. Sistema circulatorio de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

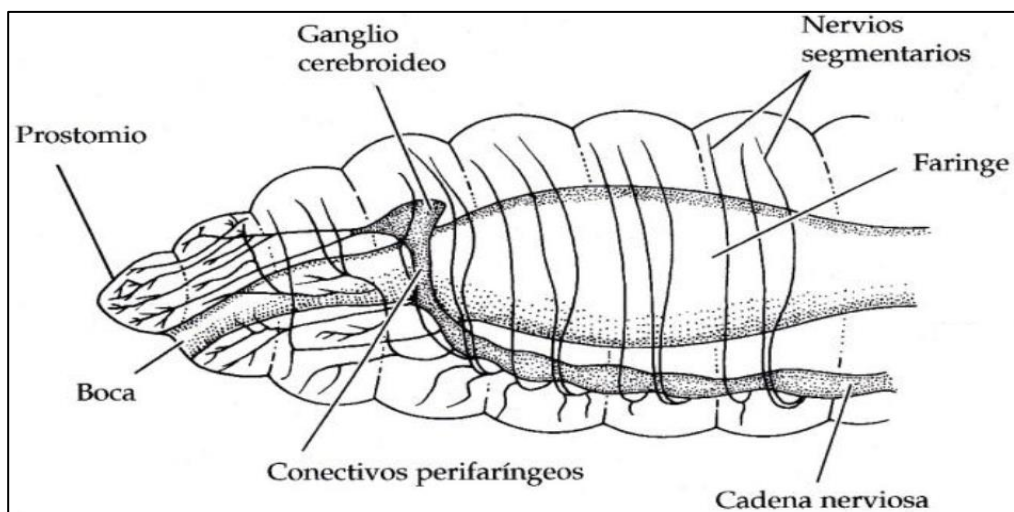


Figura 18. Sistema nervioso de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

La lombriz de tierra es hermafrodita y mantiene ambos sistemas reproductores permanentemente activos, además de que son diferenciados y se localizan en sitios concretos de su cuerpo (Figura 19). El aparato reproductor masculino se conforma por uno o dos pares de testículos que pueden abarcar uno o dos metámeros. De los testículos son liberados los espermatozoides para que maduren en el celoma o almacenados en las vesículas seminales. Una vez madurados son transportados a los embudos seminales y enviados a los poros masculinos por los espermiductos.

El aparato reproductor femenino sólo tiene un par de ovarios situados por detrás de los órganos reproductores masculinos. Los óvulos son expulsados de los ovarios y almacenados en los ovisacos para que maduren. Al terminar la fase de maduración, los óvulos entran al oviducto para finalmente ser liberados por los poros femeninos.

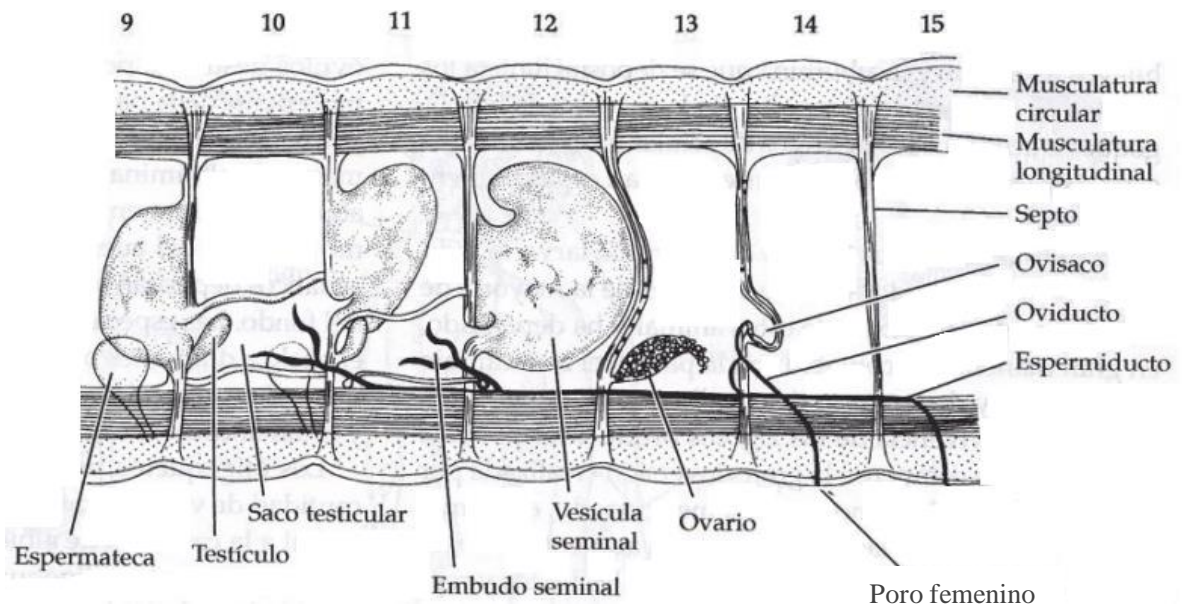


Figura 19. Sistema reproductor de la lombriz. Fuente: Modificada de Brusca y Brusca, 2005.

Identificación taxonómica de la lombriz de tierra de la FESI y alimento

La lombriz roja californiana (*E. foetida*; Savigny, 1826) es la especie más utilizada en la producción de lombricomposta. Según lo investigado por Domínguez y Gómez (2010), esta especie es muy resistente, debido a su gran capacidad de tolerar amplios rangos temperatura y humedad. Dicha especie se desarrolla en temperaturas que oscilan de los -2 a 32° C, aunque en las condiciones más extremas se reportó que puede sobrevivir a una temperatura de hasta -12.3°C, claro que su tasa de crecimiento disminuye y por otra parte, en el caso de las temperaturas más altas que va de 32° a los 35°C, la mayoría llegan a morir, sin embargo, si se aclimatan gradualmente pueden sobrevivir.

E. foetida puede ser considerada como una de las mejores lombrices en cuestión de maduración, reproducción y tiempo de vida, porque se ha demostrado que en condiciones adecuadas su ciclo de vida es de entre 45 a 51 días. Los juveniles entre 21 a 30 días alcanzan la madurez sexual. La tasa de producción de capullos varía de entre 0.35 a 0.5 por día, con una viabilidad de eclosión del 72 a 82% y una incubación que va de entre 18 y 26 días.

La humedad que resulta ser óptima para estas lombrices es de 80-85%, de no serlo así, pueden entrar en diapausa debido a un exceso de humedad y a una temperatura desfavorable, enroscándose fuertemente y permaneciendo inmóvil hasta que nuevamente las condiciones sean las adecuadas para su desarrollo.

La norma NMX-FF-109-SCFI-2008, humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, mencionan los residuos orgánicos que son útiles como alimento para las lombrices (Tabla 2). Los residuos sanitarios, hospitalarios, infecciosos, peligrosos, de animales muertos por zoonosis o por enfermedades de alto riesgo, lodos de plantas de tratamiento de aguas de zonas industriales y aquellos que determinen las autoridades competentes, están prohibidas para alimentar a las lombrices.

Tabla 2. Residuos permitidos como alimento en la lombricultura. Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2008.

TIPO DE RESIDUOS	MATERIAL DE PROCEDENCIA
De producción agrícola.	Frutas, hortalizas, legumbres, cereales, forrajes, fibras, aceites comestibles, tabaco, café y otros
De agroindustrias.	Conservas, beneficio de café, deshidratados, congelados, empacadoras, hongos comestibles, industria azucarera, tequilera, henequenera.
De sistemas pecuarios.	Estiércol, pelo, plumas, orín
De industrias.	Preparación y transformación de carnes, pescados, previamente mezclados con materiales vegetales de alta relación carbono/nitrógeno.
Domiciliarios, de mercados y supermercados.	Todo residuo de origen animal y vegetal
Orgánicos urbanos.	Poda de jardines, parques y áreas verdes.
De plantas de tratamiento secundario.	Lodos de aguas servidas domésticas y agroindustriales.

La composta que puede ser utilizado como alimento para las lombrices, debe cumplir con un rango de pH entre 6.5 y 7.5, aunque se ha demostrado que las lombrices toleran hasta un pH de 9.2 (Méndez *et al.*, 2013). El rango ideal para la humedad se encuentra entre 45%-60% para que las lombrices puedan vivir adecuadamente, aunque hay estudios donde las lombrices muestran buen desempeño en una humedad del 80% (Méndez *et al.*, 2013; Fuentes, 1987).

Para dar inicio a la alimentación de las lombrices de tierra, se realiza la prueba de supervivencia para conocer si la composta es aceptado por las lombrices, la cual consiste en colocar una cama de alimento y sobre ella se agregan las lombrices. Cabe destacar que esto se realiza en el día, preferentemente en la mañana, para que las lombrices se entierren para refugiarse de la luz del sol, ya que son fotosensibles. Un indicador para conocer si el alimento es el adecuado, es cuando las lombrices lo han consumido, dejando muestras de humus y colocado sus huevos (Fuentes, 1987).

Una vez que las lombrices han aceptado el alimento, se continúa con el procedimiento de cuidado y alimentación hasta que terminen de consumir todo el alimento, para comenzar con la cosecha. La cosecha consiste en sacar las lombrices de la materia orgánica que sirvió de alimento y colocarlas en otro recipiente con alimento fresco. El producto de la digestión de la lombriz (humus sólido) sigue el proceso de extracción (cosecha), cribado, pesaje y empaquetado, para su aplicación directa en los cultivos.

La vermicomposta o humus de lombriz es un abono orgánico, que es el resultado de un proceso donde las lombrices ingieren la composta para mineralizarla y posteriormente excretarla como abono orgánico o humus. Ciertas especies de lombrices se adaptan de manera más eficaz a condiciones desfavorables, además de tener una alta tasa de reproducción y alta voracidad, un ejemplo de ello es la lombriz roja californiana (Durán y Henríquez, 2009).

Programa de Manejo Integral de Residuos de la FESI

Debido a que la población de la FESI en el 2014 estaba conformada por más de 15 mil personas, el volumen de RSU y la legislación vigente en el Estado de México, obliga a todos los generadores de RSU a separar sus residuos, es como se creó el Programa de Manejo Integral de Residuos (PROMIR) de la FESI, con el objetivo de disminuir el volumen de basura en la FESI, con la estrategia de promover una campaña de educación ambiental dirigida a toda la comunidad universitaria, para la separación de los residuos en sus componentes de orgánicos, reciclables, sanitarios, plástico PET, papel y cartón, con el objetivo de reducir la basura en el campus. En agosto de 2014, cuando inició el ciclo escolar 2015, se inició una campaña muy intensa de sensibilización, utilizando los medios convencionales de comunicación (carteles y lonas), medios electrónicos (correos electrónicos, página web de la FESI) y sobre todo, mediante pláticas a todos los sectores de la comunidad (académicos de las seis licenciaturas, alumnos en general, trabajadores administrativos y funcionarios).

Para la operación del Programa, se creó el Comité PROMIR, integrado como un grupo multidisciplinario, formado por dos profesores de cada una de las seis licenciaturas que se imparten en la FESI, dos alumnos de cada licenciatura, dos representantes del posgrado, dos representantes de los trabajadores, los coordinadores del Programa y el responsable general del Programa, que recayó en el secretario de desarrollo y relaciones institucionales de la Dependencia.

El Comité PROMIR también se dio a la tarea de realizar un diagnóstico sobre el manejo de los RSU en la Facultad. Se pesaron todos los residuos que se generaban en la FESI en periodos definidos, se adaptó la infraestructura para la recuperación selectiva de los residuos, en los botes se colocaron bolsas de plástico de color verde, gris o negro para la identificación del tipo de residuos, así como también se agruparon los botes en pares para hacer más eficiente la separación en la fuente de generación. Se colocaron rejillas para recuperar el plástico PET. Se impartieron pláticas a los trabajadores para que colocaran las bolsas de forma adecuada y no mezclaran los residuos separados, entre otras actividades.

Generación de RSU y sus principales componentes

El 8 de agosto de 2014, en periodo intersemestral, el Comité PROMIR cuantificó la cantidad de residuos que se generaban en el periodo intersemestral, así como en el periodo semestral. El estudio se realizó en la artesa oriente de la FES-I, donde son almacenados temporalmente los RSU que se producen en la Facultad, antes de ser entregados al servicio de limpia municipal (Figura 20).



Figura 20. Artesa o sitio de almacenamiento temporal de los RSU de la FESI. Fuente: PROMIR.

Tomaron como referencia la NMX-AA-015-1985 “Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo – Método de Cuarteo” y la NMX-AA-022-1985 “1985 “Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales – Selección y Cuantificación de Subproductos”.

Realizaron la cuantificación de todos los residuos almacenados en la artesa de la FESI generados en tres días hábiles. Se pesaron 77 bolsas con RSU, que sumaron en total 1,621.9 kilogramos, además de aproximadamente 400 kg de residuos que no se pudieron pesar por estar dispersos en toda la artesa. El total de residuos generados en tres días hábiles (sin clases), fue de 2,021.9 kg (Figura 21).



Figura 21. Cuantificación de RSU en periodo intersemestral. Fuente: PROMIR.

Con esta medición, se pudo estimar que por semana se generaban aproximadamente dos veces el volumen cuantificado (incluyendo los residuos generados el fin de semana, donde hay actividades deportivas, cursos de idiomas y actividades culturales diversas). Es decir que en periodo intersemestral, cada semana se generaban más de cuatro toneladas de residuos totalmente mezclados.

Asimismo para identificar los componentes de los RSU, se tomaron al azar 100 kg de residuos, los cuales se mezclaron mecánicamente y de esa mezcla, se extrajo una cuarta parte de ellos para distinguir y cuantificar los subproductos de los residuos (Figura 22).



Figura 22. Método de cuarteo y cuantificación de los residuos que integran los RSU de la FESI. Fuente: PROMIR.

Se identificaron y pesaron cada uno de los residuos que integran los RSU de la FESI, como se puede observar en la Tabla 3. Como podemos apreciar, la mayor fracción, considerando las medidas de peso, fue la materia orgánica o fracción orgánica (FORSU), sin considerar los residuos de jardinería, que son almacenados en un sitio diferente de la FESI y no se mezclan con los RSU. Es de señalarse que el unicel, representa un residuo muy abundante, no obstante su ligero peso.

Tabla 3. Cuantificación de RSU en el periodo intersemestral. Fuente: PROMIR.

Cálculos realizados con una muestra de 100 kg, tomando 25.9 kg para la separación fina de los residuos		
Categoría de residuos	Peso del residuos (kg)	Porcentaje del total
Orgánicos	7.7	29.73
Unicel	5.5	21.24
Papel	2.5	9.65
Cartón	2.0	7.72
Bolsas de plástico	1.8	6.94
PET	1.5	5.79
Plástico rígido	1.1	4.24
Vidrio	1.1	4.24
Tetrapack	0.5	1.93
Cubiertos de plástico y popotes	0.5	1.93
Envolturas metálicas	0.45	1.73
Latón	0.4	1.54
Otros plásticos	0.4	1.54
Botes de aluminio	0.3	1.16
Otros	0.15	0.58
Total	25.9	99.96



Figura 23. Residuos que integran los RSU de la FESI en el periodo intersemestral.

Fuente: PROMIR.

Por otra parte, la cuantificación de residuos en el periodo semestral se realizó el 5 de septiembre del 2014, realizando el mismo procedimiento que en el periodo intersemestral. Se contabilizaron un total de 155 bolsas, que sumaron 2,744.7 kilogramos, además de los aproximadamente 300 kg que no se pudieron pesar, pues se encontraban dispersos en la artesa. El total cuantificado fue de 3,044.7 kg de residuos generados en dos días, es decir que durante la semana (de lunes a viernes) se generaban aproximadamente 7,611.75 kilogramos (1,522.35 kg al día). Asimismo se debe tomar en cuenta los residuos que se generaban el fin de semana. Una estimación conservadora propone que la generación semanal era de aproximadamente ocho toneladas de residuos. También se realizó la cuantificación de subproductos de los residuos (Tabla 4), para lo cual se tomó una muestra de 97.8 kg, los cuales se homogeneizaron para después extraer 47 kg y separarlos por subproductos. Como puede apreciarse, la fracción más abundante, considerando medidas de peso, fue la fracción orgánica (FORSU), de igual forma como ocurrió en la medición intersemestral.

Tabla 4. Cuantificación de RSU en el periodo semestral. Fuente: PROMIR.

Categoría de subproducto	Peso del residuo (Kg)	Porcentaje del total
Orgánico	20.0	42.55
Papel	8.5	18.08
Bolsas y envolturas de plástico	4.0	8.51
Plástico rígido	3.5	7.45
Cartón	2.2	4.68
Unicel	2.0	4.25
Vidrio	1.6	3.40
Latón	1.5	3.19
PET	1.1	2.34
Tetrapack	0.5	1.06
Cubiertos de plástico y popotes	0.3	0.63
Envolturas metálicas	0.3	0.64
Botes de Aluminio	0.2	0.43
Sanitarios (Biológicos)	1.0	2.13
Otros	0.3	0.64
Total	47	99.97



Figura 24. Residuos que integran los RSU de la FESI en el periodo semestral. Fuente PROMIR.

Los resultados de aquel estudio mostraron que los residuos se generaban en mayor cantidad en el periodo semestral, como era de esperarse, pues el grueso de la población la integran los alumnos, con un promedio de 1,522.4 kg de RSU por día, donde el subproducto más abundante fue el de los residuos orgánicos con un 42.55%.

Por otra parte, considerando los residuos generados por semana en periodo semestral, que es de 7,611.7 kg. En un mes sumarían 30,446.8 kg aproximadamente, y con esa cifra la FES-I puede ser considerada como un gran generador de RSU, pues de conformidad con lo estipulado en la LGPGIR, quien genera más de 10 toneladas en peso bruto total al año, se debe considerar como gran generador de RSU.

Desde que se creó el PROMIR, en el año 2014, se tiene una ruta crítica y un plan de manejo de los RSU, donde se ha promovido la educación ambiental, mediante el desarrollo de estrategias para la separación de residuos en tres fracciones: reciclables, orgánicos y sanitarios. Los reciclables bien separados podrían reincorporarse en su totalidad al ciclo productivo, mediante el reciclaje; los residuos sanitarios, que se generan en los baños y son recogidos por el servicio municipal, serán llevados a sitios de disposición final; mientras que los residuos orgánicos, serán revalorizados mediante el presente plan de manejo.

Como se pudo apreciar en el diagnóstico, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), es el componente más abundante y el que más problemas de salud y contaminación puede generar. Por ello se hace más importante diseñar una estrategia de manejo de esta fracción orgánica.

Residuos de jardinería

La FESI, tiene una superficie de 420 mil metros cuadrados, con espacios arbolados, canchas deportivas y áreas verdes, que diariamente generan residuos orgánicos, diferentes a la fracción orgánica de los RSU. Los jardineros de la FESI le dan cuidado y mantenimiento a las áreas verdes, de donde se obtienen los residuos de jardinería. Estos residuos se acopian en una artesa (exclusiva para estos residuos) (Figura 25), para que posteriormente sean trasladados a un sitio de disposición final, localizado fuera de la Facultad.



Figura 25. Artesa o sitio de almacenamiento temporal de residuos de jardinería. Fuente: PROMIR.

Los residuos biodegradables que se genera en la FES-I se puede dividir en dos categorías, los residuos de comida (RC), propiamente conocidos como la FORSU, que son los restos de comida, verduras, frutas y cárnicos producto de las labores de cocina que se sitúan en el comedor principal, los kioscos y los generados por la comunidad en los botes con bolsa verde; y los residuos de jardinería (RJ) que son aquellos residuos producto del mantenimiento de las áreas verdes como la hojarasca, ramas, pasto y maleza.

Los residuos biodegradables se pueden aprovechar en su totalidad, mediante la biotecnología del composteo y la lombricultura, para obtener productos como la composta, de uso como sustrato para la siembra de hortalizas o bien como alimento en la cría de lombrices de tierra. El producto final, como sustrato para las plantas o como alimento para las lombrices, tiene valor en el mercado, además de ser biotecnologías que promueven la reducción de los volúmenes de RSU.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DEL PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES

Clasificación y determinación de la FORSU

De acuerdo con la LGPGIR, los residuos generados en la FES-I, por su volumen de generación, deben ser considerados como de manejo especial. La NOM-161-SEMARNAT-2011, establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión en dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Sin embargo, los RSU generados en la FESI no se encuentran en el listado de esta norma, por lo que la FORSU tampoco está dentro del listado, de ahí que la Facultad estrictamente hablando, no está obligada a realizar un plan de manejo.

Por lo tanto, la NOM 161 referida, la utilizamos solamente como guía para seguir los procedimientos para la elaboración del plan de manejo de la FORSU.

Aprovechamiento de la FORSU

Los residuos orgánicos son una fuente de nutrientes esenciales para las plantas y potencialmente puede promover la restauración de los suelos. A través de la transformación de los residuos orgánicos en composta y su posterior aprovechamiento como alimento para las lombrices de tierra, se puede elaborar el humus de lombriz, como una estrategia para el aprovechamiento de la FORSU.

La biotecnología de degradación aeróbica de los residuos orgánicos utilizando microorganismos, ofrece una excelente oportunidad para reincorporar la FORSU al ciclo productivo y evitar que se conviertan en pasivos ambientales. Estos residuos transformados en composta pueden utilizarse en la producción de alimentos, restauración de suelos o como alimento para las lombrices de tierra.

La lombricultura es una biotecnología que utiliza la FORSU estabilizada para alimentar a las lombrices de tierra. Estas lombrices, junto con la biota edáfica, facilitan la mineralización de la materia orgánica para transformar los residuos en un abono de alta calidad. Por los atributos de estos abonos, se puede promover la producción agrícola orgánica, desplazando a los agroquímicos que tanto daño ocasiona al suelo.

Plan de manejo de los residuos biodegradables de la FESI

Para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos junto con los residuos de jardinería generados en la FESI, se diseñó el siguiente plan de manejo, considerando cuatro fases: generación, separación, tratamiento (composteo y lombricultura) y aprovechamiento.

Separación

Para el aprovechamiento de la FORSU, dos días por semana se recolectaron los residuos orgánicos del Comedor principal de la FES-I (Figura 26), puesto que ahí es más fácil la recuperación limpia de esta fracción (sin residuos inorgánicos). Esto es posible porque en la preparación de alimentos del comedor, poseen contenedores para recuperar exclusivamente los residuos orgánicos. Estos residuos frescos, se utilizaban para el composteo por la mañana del día siguiente, evitando la formación de malos olores o fauna nociva durante su almacenamiento.

Para su recolección se implementó un itinerario junto con el personal de la cafetería, en el cual los días martes y viernes se recolectaron los residuos de comida (RC), que fueron transportados al sitio de compostaje.



Figura 26. Residuos de comida recolectados, obtenidos del comedor de la FESI.

Fuente: PROMIR.

Una pequeña fracción de los residuos de jardinería (RJ) que se encontraban en la artesa (Figura 27) fue separado del resto de los demás residuos y llevados al sitio de tratamiento, que se utilizarían mezclados con los residuos del comedor para procesarlos con la biotecnología del composteo.



Figura 27. La ARTESA donde se depositan los residuos de jardinería. Fuente: PROMIR.

COMPOSTAJE DE LA FORSU EN LA FES-I

El tratamiento de una pequeña fracción de la FORSU y de algunos residuos de jardinería generados en la FESI, se realizó mediante la aplicación de la biotecnología conocida como composteo y el producto final, que es el compost, se utilizó como alimento de las lombrices de tierra, en la lombricultura. La materia prima que se utilizó para el composteo fueron los residuos de comida (RC) del comedor central de la FESI y los residuos de jardinería (RJ), constituido principalmente de hojarasca (material café) y césped cortado (material verde), producto de la poda de las áreas verdes de la Dependencia.

La técnica de composteo fue tomada y modificada de la FAO (2013) y SEMARNAT (2016). Se utilizaron tambos de plástico con capacidad de 200 litros donde se colocaron los residuos a compostear. Se realizaron dos tratamientos, sin repeticiones por cuestiones de mano de obra, cada una con 200 kg de residuos y las proporciones de RC y RJ se describen más adelante.

El primer tratamiento (T1), fue de RC combinada con RJ, con las siguientes proporciones: residuos de comida 120 kg, pasto 60 kg y hojarasca 20 kg. Posteriormente en el fondo del tambo se colocó una capa de aproximadamente de 10 a 15 centímetros de grosor de residuos cafés y después otra capa del mismo grosor de residuos verdes, repitiendo sucesivamente el intercalado de las capas hasta el llenado del tambo, terminando con una capa de residuos cafés y sobre ella una capa de tierra del mismo grosor, que funcionó como tapón para evitar el desprendimiento de malos olores. Dicho modelo fue evaluado para demostrar que su utilización evita la propagación de malos olores y la atracción de fauna nociva.

Para el segundo tratamiento (T2), solo se utilizaron residuos de jardinería combinando las siguientes proporciones: pasto 120 kg y 80 kg de hojarasca. Dichas proporciones fueron calculadas para un composteo adecuado en la relación C/N (véase anexo II). Para el T2 sólo se utilizaron residuos cafés hasta el llenado del tambo.

Durante todo el proceso se midió cada semana la temperatura. La humedad se percibió con la técnica del puño que está descrito en el manual de la FAO (2013) y de la SEMARNAT (2016), mientras que la aireación se realizó mediante el volteo mecánico de la composta dos veces por semana. Al finalizar el proceso de compostaje se midió su pH y se describió el aspecto físico de ambos tratamientos.

Identificación y alimentación de la lombriz de tierra

Para la identificación de la lombriz, se utilizaron diez ejemplares maduros, que para su observación fueron lavadas con agua destilada para eliminar todo el sustrato. Se añadió alcohol etílico concentrado para sacrificarlas. Se fijaron y depositaron en un frasco con formol al 4%. Posteriormente se identificó la especie de lombriz, de acuerdo con la clave dicotómica de Lainez y Jordana (1987) y Talavera (1990) con apoyo de la bibliografía de Brusca y Brusca (2005), Moreno *et al* (2012) y Zaballos y Moreno (2009).

La composta obtenida del T1 y T2, fueron consideradas como alimento para las lombrices, ya que de acuerdo con el “Apartado 4, Definiciones” de la NMX-FF-109-SCFI-2008 (SE, 2008), la materia orgánica utilizada en ambos tratamientos está permitida como materia prima para el composteo, pues se encuentran dentro de los residuos orgánicos domiciliarios y residuos orgánicos urbanos. Se utilizaron tambos de plástico de 200 litros de capacidad, para albergar a las lombrices y manejarlas de manera segura, como un buen método de cría a pequeña escala. Estos sistemas de cultivo de lombrices, fueron alimentadas con el compost de los tratamientos T1 y T2, siguiendo las técnicas de Fuentes (1987) y Méndez *et al.* (2013) para producir humus de lombriz.

A medida que las lombrices consumían el compost del fondo del tambo, se les agregaba más hasta que se llenaba al borde superior del tambo. En ese momento las lombrices fueron separadas del humus, colocándolas en otro recipiente vacío para una nueva producción de humus. Al culminar el paso anterior, se procedió a cosechar el humus, vaciando el contenido del tambo sin lombrices, sobre bolsas plásticas extendidas para que el humus se secar bajo la sombra. El humus una vez seco al 30%, se tamizó en una malla de 2mm de abertura, concluyendo con el empaquetado y etiquetado (Figura 28 y 29).



Figura 28. Secado y tamizado del humus de lombriz. Fuente: PROMIR.



Figura 29. Humus de lombriz tamizado y empaquetado. Fuente: PROMIR.

RESULTADOS

Resultados del compostaje

Para el **tratamiento 1 (T1)** se registraron a lo largo de dos meses, temperaturas de entre 19° a 15°C. Cuando terminó el proceso de composteo la temperatura que se obtuvo fue de 15°C y un pH de 6.0.

En el **tratamiento 2 (T2)** se obtuvieron temperaturas de 35° en la primera semana y durante las siguientes cuatro, las temperaturas oscilaron entre los 45°, siendo su punto más alto los 55°C en la tercera. A partir de la quinta semana las temperaturas descendieron a los 45 °C, manteniéndose así hasta la séptima y octava semana, en donde la temperatura descendió a los 20°C y 10°C respectivamente. Al final del proceso dicho tratamiento presentó un pH de 8.0.

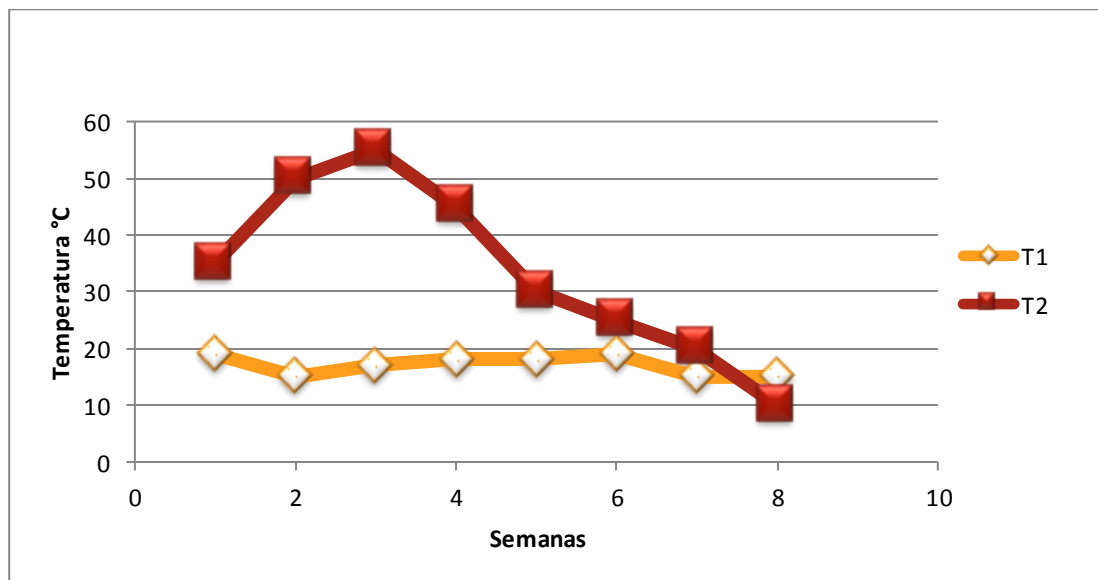


Gráfico 1. Temperatura en el proceso de compostaje de los T1 (residuos de comida y de jardinería) y T2 (residuos de jardinería).

En la medición cualitativa de la humedad, en el **T1** con la técnica del puño se observó durante todo el proceso un exceso de humedad. El aspecto final del composta fue de un color marrón oscuro y olor a fermentado (Figura 30).



Figura 30. Composta del T1 a término de ocho semanas. Fuente: PROMIR.

Para el **T2**, la humedad observada fue considerada como buena debido a que no se presentó un excedente de humedad. El aspecto de esta composta fue de color marrón, inolora, con una consistencia a tierra húmeda (Figura 31).



Figura 31. Composta del T2 al término de ocho semanas. Fuente: PROMIR.

Identificación de la especie de lombriz de tierra

Los ejemplares examinados fueron organismos adultos, con una longitud de entre 9 a 10 cm de largo, y su cuerpo de color rojo parduzco con franjas intersegmentales amarillas, no presentaron mutilaciones, por lo que se apreciaba el prostomio, el peristomio, el metastomio, y el pigidio (Figura 32). Contaban con las estructuras anatómicas específicas para su observación e identificación. En la parte ventral se localizaron los poros masculinos, redondos y engrosados, ubicados en el segmento 15 y los poros femeninos, pequeños y no tan visibles en el segmento 14. En la parte dorsal se encontraron tres poros dorsales entre los segmentos 3/4, 4/5 y 5/6, además era visible el clitelo entre los metámeros 25 al 32, que poseía una forma rectangular. En los costados se encontraron los tubérculos pubertarios que abarcaban de 5 a 6 metámeros (26 al 32). A partir del primer metámero y en los subsecuentes a lo largo de todo su cuerpo, se encontraron cuatro pares de quetas pareadas y bien definidas.



Figura 32. Lombriz de tierra con cuerpo de color rojo parduzco y con franjas intersegmentales amarillas. Fuente: Propia.

Identificación taxonómica

De acuerdo con Talavera (1990) y Lainez y Jordana (1987), la lombriz de tierra pertenece a la clase Oligochaeta, familia Lumbricidae, género Eisenia, especie *E. foetida* (ver anexo III).

Alimentación de la lombriz

La composta obtenida de los tratamientos **T1** y **T2**, fue administrada a las lombrices. Con el **T1**, se añadieron diez lombrices para realizar la prueba de la supervivencia, las cuales comenzaron a retorcerse y no se enterraban en la composta, posterior a la prueba las diez lombrices murieron. Sin embargo con el **T2**, las diez lombrices se enterraron en la composta inmediatamente y sobrevivieron a la prueba.



Figura 33. Lombriz de tierra *E. foetida*. Fuente: PROMIR.

Metas de cobertura y de aprovechamiento durante el plan

Como ya se ha expuesto, el plan de manejo tiene el objetivo de recuperar la mayor cantidad de la FORSU generada en la FESI para producir, mediante el composteo y la lombricultura, abono orgánico. El abono producido se utilizará como mejorador de suelo en las áreas verdes de la FESI y se comprobará su eficiencia en cultivos en estudios posteriores. Actualmente se convocan a los alumnos a realizar actividades siguiendo el plan de manejo aquí propuesto, ya que está registrado como opción para realizar servicio social con validez por parte de la UNAM. Se espera que con este plan de manejo, haya más participación de la comunidad universitaria.

Mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general

Como mecanismos de difusión para el aprovechamiento de los residuos biodegradables, se han impartido talleres y exposiciones en el campus de la FES-I, así como en sitios externos a la Facultad. Estas actividades han tenido como objetivo, que los participantes conozcan de una manera sencilla la elaboración de composta en casa, aprovechando sustentablemente los residuos orgánicos que ellos mismos generan. En el anexo IV se mencionan las actividades que se realizaron en la FESI y fuera de ella durante el período 2016-2018.

DISCUSIÓN

Normatividad

La FESI no está obligada formalmente ante la ley, a ejecutar un plan de manejo para la FORSU, porque no están dentro del listado de la NOM-161-SEMARNAT-2011. Sin embargo con el programa de manejo propuesto y el diagnóstico realizado por el PROMIR, se crearon las bases para el aprovechamiento de los residuos biodegradables generados en la Facultad, al mismo tiempo que se prepara el terreno para la formación de profesionistas más comprometidos con las problemáticas ambientales actuales de nuestro país.

Tratamientos

En el **tratamiento T1** no se logró el proceso de compostaje establecido en los antecedentes consultados. Según la USDA (2013) la temperatura establecida que debe alcanzar un sistema de composteo es de entre 55° y 77°C, mientras que el **T1** no sobrepasó los 20°C. Esto pudo ser ocasionado por el exceso de humedad que se presentó en el sistema en donde el oxígeno fue desplazado interrumpiéndose la actividad aerobia de los microorganismos (FAO, 2013).

Otro factor importante fue la relación C/N, que a pesar de estar teóricamente correcta, en el sistema de compostaje dicha relación fue menor porque la proporción de residuos verdes fue superior a los residuos cafés, ocasionando que la temperatura fuera baja (SEMARNAT, 2016).

Para el **tratamiento T2**, se alcanzó una temperatura máxima de 55°C, la cual se encuentra dentro del rango establecido según la USDA (2013). Sin embargo, la pérdida de humedad por el incremento de la temperatura ocasionó que dicho tratamiento no sobrepasara los 55°C como ha sido citado por Sauri *et al.*, (2002).

La relación C/N del **T2** fue igual, teóricamente, a la del **T1**, pero en el **T2** se presentó mayor presencia de material café en el composteo y de acuerdo con Sauri *et al.* (2002), una relación C/N alta no es problema para que el proceso se lleve de manera efectiva, ya que en dicha relación hay mayor presencia de material café que de material verde.

Lombricultura

La composta que se produjo en la FESI cuenta con residuos de tipo domiciliario y orgánicos urbanos, que al ser materia orgánica en descomposición es una buena opción para ser utilizado como alimento para las lombrices (Secretaría de Economía, 2008).

En el tratamiento T1 las lombrices murieron debido a que el pH fue de 6.0. Esto como consecuencia a que no toleraron la acidez que se presenta en el T1, pues de acuerdo con Méndez *et al.* (2013), el alimento debe cumplir con un rango de pH 6.5 a 7.5 aunque pueden tolerar hasta un pH de 9.2.

CONCLUSIONES

La legislación que regulan el manejo de los RSU son la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, las leyes estatales, bandos y reglamentos municipales y la Normas Oficiales Mexicanas. A pesar de que existe suficiente legislación en materia de residuos, aún se debería emplear mayor rigor en su aplicación.

La FESI produce más de 10 toneladas de RSU al año y de acuerdo con la ley, se debe considerar como un gran generador de residuos sólidos urbanos.

Uno de los productos de este trabajo y con la colaboración del PROMIR fue la elaboración del Plan de Manejo Integral de la Fracción Orgánica, tomando como referencia la NOM- 161-SEMARNAT-2011.

Para el tratamiento de la FORSU, se utilizó la biotecnología del compostaje. En el compostaje, el T2 cumplió con los requisitos obligatorios establecidos, mientras que el T1 no lo hizo. Para que exista un buen compostaje la relación C/N debe estar en los rangos 30:1, con una humedad de entre 40 a 60%, y debe predominar el material café (carbono) sobre el material verde (nitrógeno).

En la biotecnología de la lombricultura, se requiere que el compost esté maduro y tenga un pH de 6.5 a 8.0 para que las lombrices puedan desarrollarse óptimamente. Es muy importante cuidar los parámetros de temperatura, pH, humedad y ventilación.

La lombriz de tierra que se utiliza en la FESI, en la planta piloto de lombricultura, es de la conocida como roja californiana, que pertenece a la clase Oligochaeta, familia Lumbricidae, género *Eisenia*, especie *E. foetida*.

LITERATURA CITADA.

Bando Municipal de Tlalnepantla de Baz, Estado de México. (2017). Gaceta Municipal. México. 37 p.

Brito V. H., Espinosa V. D., Figueroa S. B., Fragoso C. y Patrón I. J. C. (2006). Diversidad de lombrices de tierra con labranza de conservación y convencional. *Terra Latinoamericana*. 24: 99-108.

Brown G. G., Fragoso C., Barois I., Rojas P., Patrón J. C., Bueno J., Moreno A. G., Lavelle P., Ordaz V. y Rodríguez C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. Número especial 1: 79-110.

Brusca C. R. y Brusca J. G. (2005). *Invertebrados*. 2da edición en español. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A.U.

Castrillón Q. O. y Puerta E. S. M. (2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la corporación universitaria lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*. 1(1): 15-21.

Código para la Biodiversidad del Estado de México. (2005). Libro Cuarto de la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Cámara De Diputados Del Honorable Congreso Del Estado De México, "LV" Legislatura. México. 144-179 pp.

Constitución Política de los Estado Unidos Mexicanos. (1917). *Diario Oficial de la Federación de la República de los Estados Unidos Mexicanos*. México. 297 p.

Durán L., Henríquez C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos.

Domínguez J. y Gómez B. M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*. Número especial 2: 309-320.

FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor: experiencias de América latina. Santiago de Chile. 112 p.

Félix H. J. A., Serrato F. R., Armenta B. A. D., Rodríguez Q. G., Martínez R. R., Azpiroz R. H. S. y Olalde P. V. (2010) Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Ra Ximhai*. 6:105-113.

Fragoso C. (2001). Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica de México*. Número especial 1:131-171.

Fragoso C. y Rojas P. (2014). Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassiclitellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: S197-S207.

Fuentes Y. J. L. (1987). La crianza de la lombriz roja. Pub. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 28 p.

Hoornweg D. y Bhada-Tata P. 2012. What a waste. A global review of solid waste management. World bank. 116 p.

IFOAM (2003). Normas para la producción y procesado orgánico y criterios de acreditación. 158 p.

Iriondo M. J. (2000). Taxonomía y conservación: Dos aproximaciones a un mismo dilema. *Portugaliae Acta Biol*. 19: 1-7.

Kiss-Köfalusi G. y Encarnación- Aguillar G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta ecológica*. 79: 39-51 pp.

Lainez C. y Jordana R. (1987). Contribución al conocimiento de los Oligoquetos (Oligochaeta, Lumbricidae) de Navarra. Departamento de Zoología. Universidad de Navarra. España. 80 p.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2015). Diario Oficial de la Federación de la República de los Estados Unidos Mexicanos. México. 52p.

Maldonado L. (2006). Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. *Ingeniería*. 10 (1): 59-68.

Méndez L. C., Ruelas A. R. D., Sañudo T. R. R., Armenta L. C. y Félix H. J. A. (2013) Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Tecnociencia Chihuahua*. 7 (2): 81-87.

Montes de Oca C. L. M. y Ruíz L. M. A. (2004). Manual para el establecimiento y manejo de instalaciones lombrícolas. ICAMEX. 25 p.

Moreno G. A., Outerelo R., Ruiz E., Aguirre J. I., Almodóvar A., Alonso J. A., Benito J., Arillo A., Berzosa J., Buencuerpo V., Cabrero S. F. J., De Juana E., Díaz C. D. J., Díaz J. A., Elvira B., Fernández L. G., García M. I., Gómez J. F., González M. M. D., Gutiérrez L. M., Jesús J. B., Martínez I. M. D. (2012). Prácticas de zoología: Estudio y diversidad de anélidos. *Reduca (Biología)*. 5(3): 1-16.

Nieto G. A., Murillo A. B., Troyo D. E., Beltrán M. A., Ruíz E. F. H., García H. J. L. (2010). Aprovechamiento de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y doméstico para la elaboración y uso de composta en la agricultura orgánica. *Agricultura Orgánica*. Tercera parte. 69-81

NADF-020-AMBT-2011. (2012) Norma ambiental para el Distrito Federal, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. 69-83 Pp.

NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos.

NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental - salud ambiental - residuos peligrosos biológico-infecciosos. Clasificación y especificaciones de manejo.

NTEA-006-SMA-RS-2006. (2006). Norma Técnica Estatal Ambiental establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de México. 64 p.

OCIA. (2013). Estándares Internacionales de Certificación. OCIA International. Estados Unidos. 164 p.

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2006). Diario Oficial de la Federación de la República de los Estados Unidos Mexicanos. México. 61 p.

Sauri R. M R., Nájera A. H. A., Ramírez H. J. G., Mejía S. G. M. (2002) Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. Ingeniería. 6(1): 13-20.

Santamaría R. S., Ferrera C. R., Almaráz S. J., Gavlis S. A., Barois B. I. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N total durante el composteo y vermicomposteo. Agrociencia. 35(4): 337-384 pp.

SE. (2008). NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. México. 28 p.

SEMARNAT. (2006). Manual de compostaje municipal: Tratamiento de residuos sólidos urbanos. México. 104 p.

SEMARNAT. (2013). NOM- 161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Diario Oficial de la Federación. Pp. 12-38.

SEMARNAT. (2016). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. México. 498 p.

SEMARNAT. (2016). Lineamientos de operación para el otorgamiento de subsidios de la SEMARNAT, a través del Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México. 45 p.

Talavera, J. A., (1990). Claves de identificación de las lombrices de Tierra (Annelida: Oligochaeta) de Canarias. *Vieraea*. 18: 113-119.

USDA. (2013). Programa Nacional Orgánico. Reglamento final. USDA Organic. Estados Unidos. 68 p.

Vargas O., Alvarado E., López C., Cisneros V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. Caso Estudio. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2 (5): 83-91.

Velasco V. J., Figueroa S. B., Ferrera C. R., Trinidad S. A., Gallegos S. J. (2004) CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana*. 22(3): 307-316.

Zaballos P. J., Moreno G. A. (2009) Modelos adaptativos en Zoología (Manual de prácticas). Estudio anatómico de un anélido y un crustáceo. *Reduca (Biología)*. 2(2): 126-141.

Zúñiga T. R. 2003. La materia orgánica en el suelo. Abonos orgánicos y plasticultura. México. 1-19 pp.

ANEXO I

NORMAS MEXICANAS.

Tabla 5. Normas mexicanas correspondientes a los residuos sólidos. Fuente: Propia.

Norma.	Título.	Descripción.
NMX-AA-015-1985	Método de cuarteo.	Establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis de laboratorio.
NMX-AA-016-1984	Determinación de humedad.	Método para determinar la humedad en residuos sólidos municipales.
NMX-AA-018-1984	Determinación de cenizas.	Método de prueba para la determinación de cenizas en residuos sólidos municipales.
NMX-AA-019-1985	Peso volumétrico “in situ”.	Obtención del peso volumétrico de los residuos sólidos en el lugar de muestreo.
NMX-AA-021-1985	Determinación de materia orgánica.	Método para la determinación de materia orgánica existente en los residuos sólidos.
NMX-AA-022-1985	Selección y cuantificación de subproductos.	Establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales.
NMX-AA-024-1984	Determinación del nitrógeno total.	Determinación del nitrógeno total por el método Kjeldhal contenido en los residuos sólidos.

Tabla 1. Normas mexicanas correspondientes a los residuos sólidos. Fuente: Propia.
(Continuación).

Norma.	Título.	Descripción.
NMX-AA-025-1984	Determinación de pH- método potenciómetro.	Determinación del pH de los residuos sólidos por método del potenciométrico.
NMX-AA-031-1976	Determinación de azufre en desechos sólidos.	Establece el método para la determinación de azufre transformado en ácido sulfúrico durante la combustión de desechos sólidos.
NMX-AA-032-1976	Determinación de fosforo total en desechos sólidos (método del fosfavanadomolibdato)	Método fotométrico para la determinación de fósforo total contenido en desechos sólidos.
NMX-AA-033-1985	Determinación de poder calorífico superior.	Método de prueba para determinar el poder calorífico superior de los residuos sólidos municipales.
NMX-AA-052-1985	Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.	Establece el método para la preparación de muestras para su análisis.
NMX-AA-061-1985	Determinación de la generación.	Permite la determinación de la generación de residuos sólidos a partir de un muestreo estadístico aleatorio.
NMX-AA-067-1985	Determinación de la relación carbono/nitrógeno.	Método para determinar la relación carbono/nitrógeno en residuos sólidos.

Tabla 1. Normas mexicanas correspondientes a los residuos sólidos. Fuente: Propia.
(Continuación).

Norma.	Título.	Descripción.
NMX-AA-068-1986	Determinación de hidrógeno a partir de materia orgánica.	Establece el método para la determinación de hidrógeno en los residuos sólidos.
NMX-AA-080-1986	Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.	Establece el método para la determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica en desechos sólidos.
NMX-AA-091-1987	Terminología.	Establece las definiciones de los términos más utilizados en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del suelo, originada por residuos sólidos.
NMX-AA-094-1985	Determinación de fosforo total.	Especifica un método de prueba para determinar el fósforo total contenido en los Residuos Sólidos Municipales y no es aplicable a productos que generan soluciones coloridas

ANEXO II

RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO.

De acuerdo con lo que menciona SEMARNAT (2006), el cálculo de la relación C/N se realiza de la siguiente manera:

Anotar en la columna “PESO”, ya sea en gramos, kilogramos, etc. lo correspondiente al peso que tenemos de residuos. Los residuos son pesados naturalmente junto con la humedad que contengan. Solo deberá anotar en las casillas según los residuos disponibles, en los demás colocará cero.

1. Para cada residuo se debe multiplicar el “PESO” por el “% N”, dividir entre 100 y anotar en la columna “N”.
2. Para cada residuo se debe multiplicar el “PESO” por el “% C”, dividir entre 100 y anotar en la columna “C”.
3. Para cada residuo se debe multiplicar el “PESO” por el “% H₂O”, dividir entre 100 y anotar en la columna “H₂O”.
4. Sumar los valores de la columna “PESO” y anotar el total en la fila “Suma”.
5. Sumar los valores de la columna “N” y anotar el total en la fila “Suma”.
6. Sumar los valores de la columna “C” y anotar el total en la fila “Suma”.
7. Sumar los valores de la columna “H₂O” y anotar el total en la fila “Suma”.
8. Dividir la suma de la columna “C” entre la suma de la columna “N” y anotar el resultado en la casilla “C/N”.

9. Dividir la suma de la columna “H2O” entre la suma de la columna “PESO” y anotar el resultado en la casilla “Humedad”.
10. Si la relación C/N o la de la humedad no se encuentran dentro de los intervalos recomendados, para cada uno de ellos, se deberá añadir o reducir alguno de los componentes y proceder a realizar nuevamente el cálculo hasta que los valores se ajusten a los intervalos recomendados.

Para determinar las proporciones de los dos tipos de residuos biodegradables para elaborar la composta se realizaron dos tablas dinámicas en Excel y se ingresaron cuatro columnas: tipo de residuos, los valores predeterminados de carbono (%C), porcentaje de nitrógeno (%N) y porcentaje de humedad (%H₂O). Dichos valores se obtuvieron del cuadro “B.1. Técnica para la formulación de la mezcla para el compostaje.” la que se encuentra en el “Anexo B” del Manual de compostaje municipal: Tratamiento de residuos sólidos urbanos (SEMARNAT, 2006). Posteriormente se incluyeron las columnas correspondientes para obtener el nitrógeno, el carbono y la humedad de cada residuo, en donde se aplicaron las siguientes formulas:

Para el nitrógeno:

$$N = P (\%N) / 100$$

Dónde:

P= Peso del residuo.

%N= Porcentaje de nitrógeno correspondiente al residuo.

Para el carbono:

$$C = P (\%C) / 100$$

Dónde:

P= Peso del residuo.

%C= Porcentaje de carbono correspondiente al residuo.

Para la humedad:

$$\text{Humedad} = P (\%H) / 100$$

Dónde:

P= Peso del residuo.

%H= Porcentaje de humedad correspondiente al residuo.

Finalmente, se agregó en una fila adicional a las columnas de Peso, C, N y H₂O, la sumatoria de los valores de cada residuo para obtener el contenido total de C, N, Humedad y el Peso de la mezcla. En la misma tabla, se añadieron dos celdas, una para la relación C/N dividiendo el total de C y el total de N para obtener un relación 30/1, y otra para el porcentaje de humedad donde se dividió el total de humedad entre el peso total de la mezcla y se multiplicó por cien.

Se tomaron como referencia los intervalos de una relación C/N 30/1 y de una humedad de entre 40% y 60%. A partir de las referencias tomadas se adicionaron las cantidades de cada tipo de residuo, cuidando que la mezcla a compostear estuviera dentro del intervalo indicado (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Relación C:N del T1.

Relación C:N (30-1)

Tipo de Residuo	%N	%C	%H ₂ O	Peso	N	C	H ₂ O
Pasto	0.645	12.96	70	60.00	0.39	7.78	42.00
Restos de comida	0.38	13.22	65	120.00	0.46	15.86	78.00
Hojas caídas	0.300	18	60	20.00	0.06	3.60	12.00
			Suma	200.00	0.90	27.24	132.00

C/N	30.17
Humedad	66.00

Tabla 7. Relación C:N del T2.

Relación C:N (30-1)

Tipo de Residuo	%N	%C	%H2O	Peso	N	C	H2O
Pasto	0.645	12.96	70	120.00	0.77	15.55	84.00
Hojas caídas	0.300	18	60	86.00	0.26	15.48	51.60
			Suma	206.00	1.03	31.03	135.60

C/N	30.07
Humedad	65.83

ANEXO III

IDENTIFICACIÓN DE LA LOMBRIZ DE TIERRA.

Según con Talavera (1990) para identificar la familia se tomaron en cuenta las siguientes características de la clave de identificación

- 1. Próstatas ausentes. Poros masculinos preclitelares.....Fam. Lumbricidae
- Próstatas presentes. Poros masculinos no preclitelares.....2

Para la identificación de especie fueron los siguientes puntos:

- 1. Poros masculinos en el en segmento 13, raramente en 11, 12 ó 14. Región postclitelar cuadrangular. Género *Eiseniella*..... *E. tetraedra*.
- Poros masculino preclitelar en el segmento 15. Región postclitelar no cuadrada.....2
- 2. Quedas anchamente pareadas o bien separadas.....3
- Quetas estrechamente pareadas.....9
- 9. Glándulas calcíferas en el segmento 10, sin divertículos. Poros masculinos con labios glandulares bien patentes. Género *Eisenia*.....10
- Glándulas calcíferas del segmento 10 con dos divertículos. Poros masculinos con labios glandulares diminutos o voluminosos.....12
- 10. Prostomio tanilóbico. Tubérculos pubertarios ausentes..... *E. eiseni*.
- Prostomio epilóbico. Tubérculos pubertarios presentes.....11
- 11. Pigmentación cutánea rojo parduzca con fajas intersegmentales amarillas..... *Eisenia foetida*.

Se muestran a continuación las imágenes obtenidas en la identificación de la lombriz de la clave de Talavera (1990).

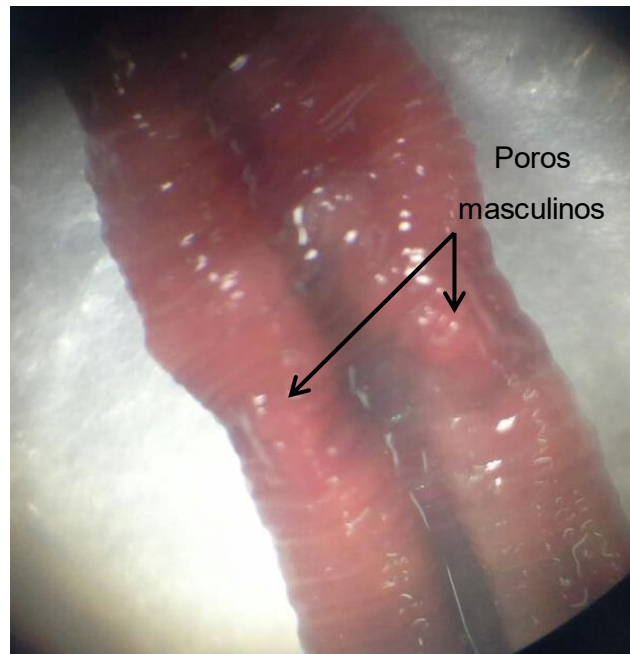


Figura 34. Parte ventral de la lombriz donde están los poros masculinos. Fuente: Propia.

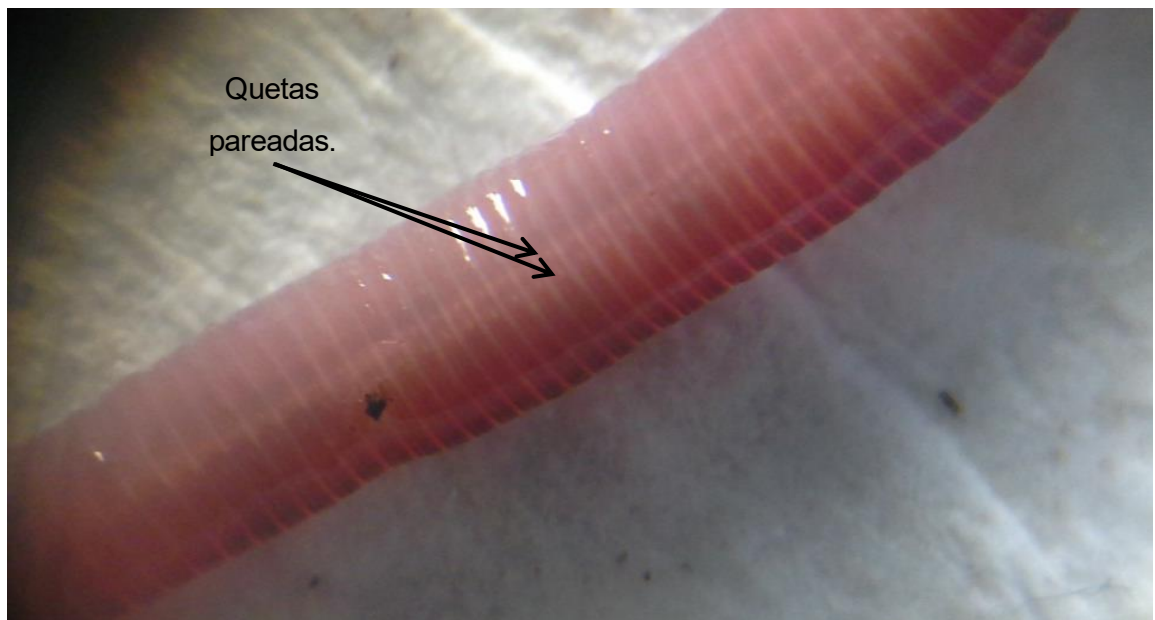


Figura 35. Lombriz de tierra observada lateralmente. Fuente: Propia.



Figura 36. Prostomio y parte apical de la lombriz de tierra. Fuente: Propia.

De acuerdo con las claves de Lainez y Jordana (1987), se clasificó a la lombriz de tierra de la siguiente manera:

1.- Disposición de las 8 sedas de cada segmento es igual a lo largo de todo el animal.....	5
Las sedas de los segmentos anteriores son ampliamente geminadas y las de los posteriores al clitelo aparecen separadas.....	2
5.- (1) Sedas separadas.....	6
Sedas no separadas.....	21
21.- (5) Prostomio tanilóbico.....	22
Prostomio no tanilóbico.....	28
28.- (21) Clitelo dorsal.....	32
Clitelo en forma de anillo.....	29
32.- (28) Sin pubérculos.....	33
Con pubérculos.....	35
35.- (32) Último segmento del pubérculo anterior al 30.....	36
Último segmento del pubérculo en 30 o segmentos posteriores.....	39
39.- (35) Pubérculos de extensión 31-33.....	40
Pubérculos con otra extensión.....	41
41.- (39) Primer segmento clitelar anterior al 25.....	42
Primer segmento clitelar posterior al 25.....	43

43.- (41) Primer poro dorsal anterior (3/4, 4/5, o 5/6).....	44
Primer poro dorsal posterior (9/10, o 10/11).....	57
44.- (43) Pubérculos con cúpulas.....	45
Pubérculos sin cúpulas.....	46
46.- (44) El primer segmento clitelar está situado en el segmento 40, o segmentos posteriores.....	47
Primer segmento clitelar, anterior al 40.....	50
50.- (46) Pubérculos cortos, ocupan como máximo cinco segmentos.....	51
Pubérculos más largos.....	54
54.- (50) El clitelo ocupa el segmento 35.....	55
Clitelo en posición anterior.....	56
56.- (54) Pigmentación acebrada. Clitelo de extensión (25) 26-32 (33).....	Eisenia foetida
Sin pigmentación cutánea, el clitelo ocupa los segmentos (25, 26) 27-32 (33).....	Allolobophora handlirschi

A continuación se exponen las imágenes con su descripción y manteniendo el orden de cómo se realizó la identificación utilizando las claves dicotómicas.

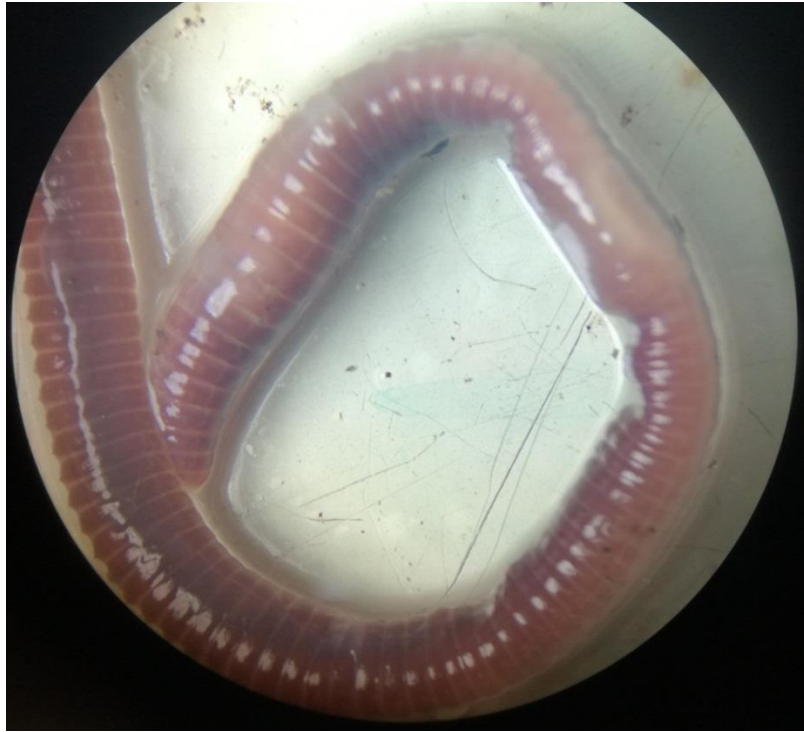


Figura 37. Cuerpo completo de la lombriz de tierra. Fuente: Propia.

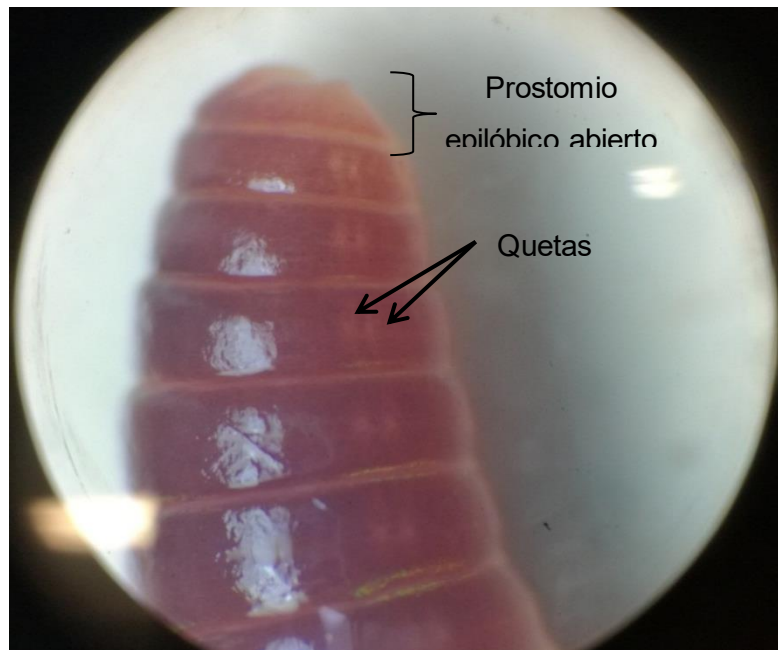


Figura 38. Vista dorsal de la parte apical de *E. foetida*. Fuente: Propia.

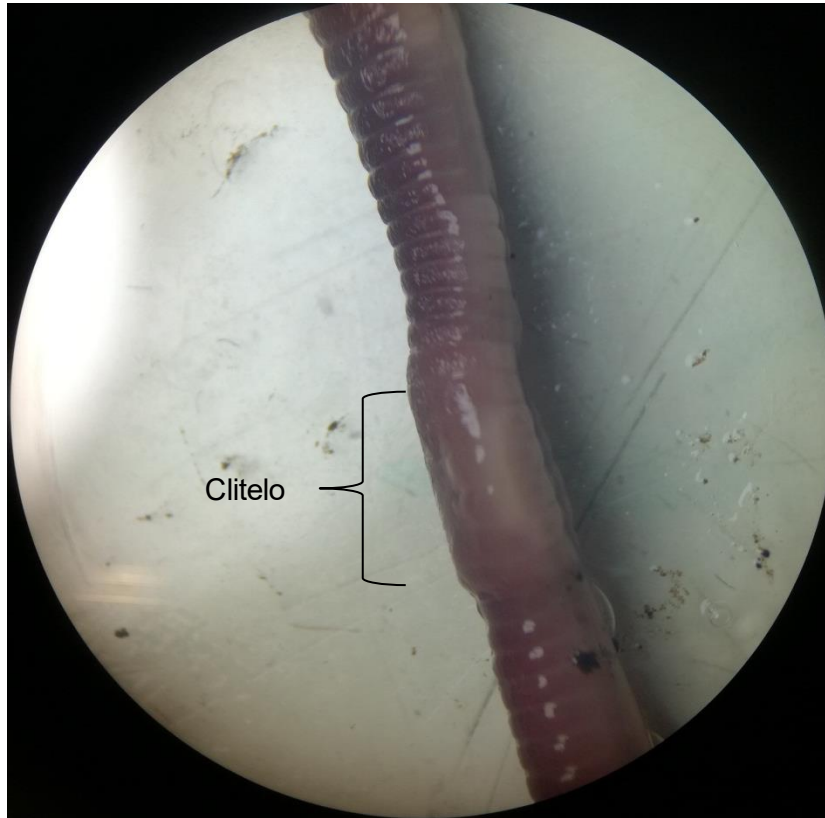


Figura 39. Clitelo ubicado dorsalmente. Fuente: Propia.

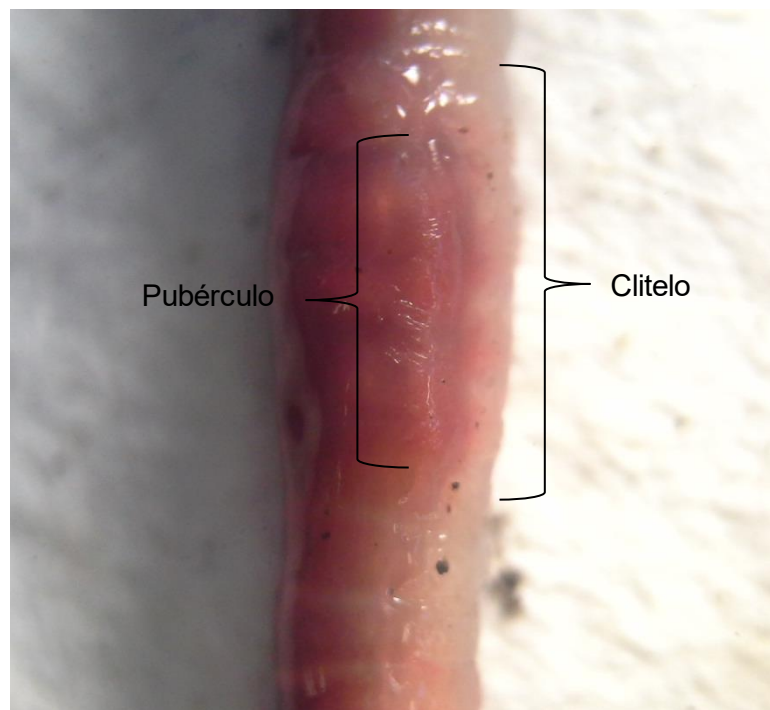


Figura 40. Pubérculo a un costado del clitelo. Fuente: Propia.

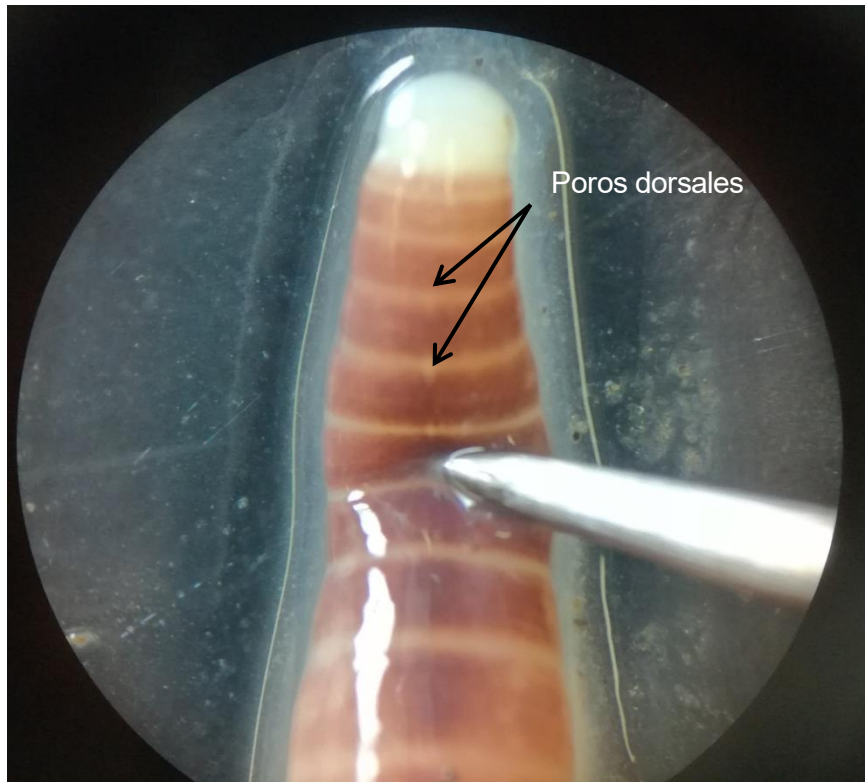


Figura 41. Parte dorso-apical del cuerpo de la lombriz. Fuente: Propia.

ANEXO IV

PARÁMETROS DE REFERENCIA EN EL HUMUS DE LOMBRIZ.

Tabla 8. Designación y clasificación del producto en base a la NMX-FF-109-SCFI-2008.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
Clasificación del producto.	Extra, Primera y Segunda.
Granulometría.	Humus de lombriz rústico o no tamizado. Humus de lombriz tamizado (Especificar en milímetros el poro de la malla).
Pureza.	Mencionar si se añadió otro componente ajeno. No contener más del 10% de material orgánico no ingerido. No contener más del 1.5% de impurezas inorgánicas.
Humedad.	Especificar el contenido porcentual de agua y del peso del producto.
Presencia de semillas.	Medir la viabilidad de semillas.
Contaminantes.	Cumplir con las normas oficiales mexicanas vigentes (ver apartado “3 Referencias” de la NMX-FF-109-SCFI-2008).
Madurez.	Cumplir con los requisitos de la relación C/N y la capacidad de intercambio catiónico.
Color y olor.	Estar dentro de la gama de colores del negro a café oscuro. Olor a tierra húmeda. Ausente de olores pestilentes.

Figura 42. Especificaciones fisicoquímicas que debe cumplir el humus de lombriz.

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

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 ³
Conductividad eléctrica⁴	≤ 4 dS m ⁻¹
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg ⁻¹
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL ⁻¹
Materiales adicionados	Ausente

Figura 43. Especificaciones microbiológicas que debe cumplir el humus de lombriz. Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2008.

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

ANEXO V

Actividades en la FESI

Fecha: 7 de Octubre del 2016.

Evento: Quinto Festival de los Centros de Apoyo de la Carrera de Biología, en el marco del Día Mundial de la Biodiversidad.

Actividades: Se impartió el taller para el manejo adecuado de la FORSU así como el un adecuado tratamiento mediante la elaboración de composta y lombricomposta. Se resolvieron las dudas de la comunidad, además se sugirieron distintos usos de los productos obtenidos.

Fecha: 27 Abril del 2017.

Evento: Día Nacional de los Jardines Botánicos.

Actividades: Consistió en elaborar un taller de composta y vermicomposta para obtener un abono para aplicarlo sobre cultivos ornamentales y hortalizas enfatizando la importancia de estos organismo en el ambiente.

Fecha: 20 de Octubre del 2017.

Evento: Séptimo Festival de los Centro de Apoyo de la Carrera de Biología, en el marco del Día Mundial de la Defensa de la Biodiversidad.

Actividades: Mediante el taller del reciclaje de la FORSU para la elaboración de humus de lombriz, se concientizó a la comunidad iztacalteca de la necesidad de separar los RSU como eje central para implementar un manejo adecuado a estos y la importancia su revalorización para llegar a la meta de basura cero.

Fecha: 1 de Diciembre del 2017.

Evento: Fiesta de las Ciencias y Humanidades 2017.

Actividades: Se expuso un cartel ante la comunidad estudiantil y científica con énfasis en la transformación de los residuos sólidos biodegradables generados en la FESI-UNAM, en abono orgánico, presentando las ventajas del reciclado y tratamiento como también la importancia de estos en todos los sectores sociales.

Fecha: 30 y 31 de Enero y 1 de Febrero del 2018.

Evento: Jornada Multidisciplinaria de Salud 2018.

Actividades: Se fomentó las ventajas del reciclado de la FORSU, además a la comunidad, se le instruyó en la elaboración de humus de lombriz y de composta para sus hogares con el objetivo de reducir los contaminantes al ambiente y el cultivo de hortalizas para autoconsumo, teniendo como objetivo el obtener y conservar una buena salud.

Actividades fuera de la FESI

Fecha: 26 y 27 de Octubre del 2016.

Evento: Primer Congreso CCH al Cuidado del Ambiente.

Actividades: Se acudió al Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel “Vallejo”, para interactuar con la comunidad de dicha institución, sobre la importancia del cuidado al ambiente. Se Impartió una conferencia de la Gestión Integral de la Fracción Orgánica, de los Residuos Sólidos Urbanos de la FESI, UNAM. Posteriormente, mediante el taller de “Manejo de Residuos Biodegradables Mediante la Lombricultura”, se reiteró la importancia de la separación de los residuos orgánicos y cómo mediante la elaboración de la composta y de la lombricultura es posible darles un tratamiento a esos desechos.

Fecha: 13 de Junio del 2017.

Evento: Segunda feria de las Ciencias y el Ambiente.

Actividades: Gracias al trabajo en conjunto con el H. Ayuntamiento de Melchor Ocampo, Estado de México, se celebró un evento dedicado a las ciencias y al ambiente. En esa ocasión se impartió un taller para la revalorización de los residuos orgánicos mediante la técnica del compostaje y la lombricultura, en donde la población, tanto estudiantil y local, fue participe mediante sus preguntas para manejar adecuadamente sus residuos y los retos a los que se enfrentan.