



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de Ciencias

Centro de

Agroecología

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

EXTRACTO LÍQUIDO DE LOMBRICOMPOSTA DE
RESIDUOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS CON
EUCALIPTO EN CRECIMIENTO DE JITOMATE Y
SUPRESIÓN DE PATÓGENOS

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestra en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta

BIOL. INGRID VÁZQUEZ BONOLA

Director de la Tesis

Dr. JOSÉ CINCO PATRÓN IBARRA

Puebla, Pue. a 4 de diciembre de 2020.



La presente tesis, titulada: "Uso en agricultura del extracto líquido de lombricomposta a partir de residuos sólidos domiciliarios y eucalipto.", realizada por la alumna Biól. Ingrid Vázquez Bonola, bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: _____

Dr. José Cínco Patrón Ibarra

ASESOR: _____

Dr. Dionicio Juárez Ramón

ASESOR: _____

Dr. Antonino Báez Rogelio

ASESOR EXTERNO: _____

Dr. Joel Pineda Pineda

REVISOR EXTERNO: _____

Dra. Norma Elena Rojas Ruíz

Puebla, Pue., Noviembre de 2020.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca número 927184, otorgada para realizar los estudios de posgrado.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del programa IV. Investigación y Posgrado. Apoyar a los programas de Posgrado para lograr su incorporación al Padrón Nacional de Calidad. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2017-2021.

Al comité tutorial por sus enseñanzas, invaluable experiencia, y el tiempo invertido para la realización de este proyecto de investigación.

A todas las personas involucradas directa e indirectamente en este proyecto de investigación.

Índice General

	Página
Agradecimientos	I
Índice de figuras.....	X
Índice de tablas	XIII
1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos particulares	4
1.4. Hipótesis	5
1.5. Revisión de literatura	6
1.5.1. Residuos sólidos.....	6
1.5.1.7. Por su recuperación (Esquer, 2009)	14
1.5.1.8. Por su tipo (Esquer, 2009)	15

1.5.2. El abono orgánico	28
1.5.3. Propiedades de los abonos orgánicos	29
1.5.4. ¿Qué es el compostaje?	30
1.5.6. Materiales a compostar.....	30
1.5.7. Factores de control técnico	31
1.6. Planteamiento del problema	47
2. Materiales y métodos	49
2.1. Área de estudio	49
2.2. Elaboración del extracto líquido de lombricomposta	51
2.3. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.	55
2.4. Ensayo de antagonismo.....	56
2.5. Conteo de microorganismos contenidos en el extracto líquido de lombricomposta.....	56
2.6. Pruebas en campo.	57
2.6.1. Cultivar de jitomate empleado	57

2.6.2. Aplicación del extracto líquido de lombricomposta	57
2.7. Valoración agronómica del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto en cultivo de jitomate	58
2.7.1. Descripción de tratamientos	58
2.7.2. Diseño de tratamientos	58
2.7.3. Diseño experimental	59
2.7.4. Establecimiento del cultivo.....	59
2.7.5. Siembra	59
2.7.6. Trasplante.....	60
2.7.7. Riego	61
2.7.8. Poda	61
2.7.9. Tutorado	61
2.7.10. Fertilización.....	62
2.8. Labores culturales.....	63
2.8.1. Plagas y enfermedades	63

2.8.2. Deschuponado (eliminación de brotes axilares)	63
2.8.3. Poda de hojas	63
2.8.4. Poda de formación	64
2.8.5. Deshierbe	64
2.8.6. Cosecha.....	64
2.9. Variables agronómicas.....	65
2.9.1. Variables morfológicas.....	65
2.9.2. Cultivo vegetal para identificación de fitopatógenos ambientales	66
2.10. Análisis estadístico	68
3. Resultados	69
3.1. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta	69
3.2. Ensayo de antagonismo.....	69
3.3. Carga microbiana del extracto líquido.....	70
3.4. Pruebas en campo	72

3.4.1. Para los diámetros de tallo	72
3.4.2. Altura de la planta.....	73
3.4.3. Producción de fruto.....	74
3.4.4. Lesiones causadas por contaminación ambiental.....	75
3.5. Cultivo vegetal para identificación de fitopatógenos	78
4. Discusión	80
4.1. Efecto antifúngico.....	80
4.2. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta	81
4.2.1. Conductividad eléctrica.....	81
4.2.2. pH	82
4.3. Carga microbiana del extracto líquido.....	82
4.4. Ensayo de antagonismo.....	83
4.5. Altura de la planta	84
4.6. Diámetro de tallos	84

4.7. Producción	84
4.8. Lesiones.....	85
5. Conclusiones	86
6. Recomendaciones.....	87
7. Literatura citada	88

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos (TECUMI, 2017).....	11
Figura 2. Muestra la generación de Residuos Sólidos Urbanos por su origen (https://sites.google.com/site/residuossolidosav/clasificaci).....	12
Figura 3. Composición de los Residuos Sólidos Urbanos generados en México (INEGI, 2013).	21
Figura 4. Muestra la generación de RSU por región (SEMARNAT, 2018).	22
Figura 5. Porcentaje de aprovechamiento de materiales reciclables en México (SEDESOL, 2013).....	25
Figura 6. Esquema con los factores que influyen en el proceso de compostaje (Soliva <i>et al.</i> , 2018).	29
Figura 7. Fases del proceso de compostaje por acción de la temperatura (Moreno y Mormeneo, 2008).	35
Figura 8. Ubicación del sitio de transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios y área de preparación de los extractos líquidos de lombricomposta (Google Maps 2019).....	49
Figura 9. Edificio multiaulas 6 de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (https://24horaspuebla.com/2016/tendra-la-buap-bachillerato-en-san-jose-chiapa/).	50
Figura 10. Invernadero de jitomate ubicado en Chipilo, Puebla (Fuente propia, 2019).....	51
Figura 11. Construcción de camas de lombricompostaje y vertido de Residuos Sólidos orgánicos dentro de éstas (Fuente propia, 2019).	52

Figura 12. Proceso de secado de la lombricomposta, para su posterior cernido (Fuente propia, 2019).....	53
Figura 13. Proceso de preparación del extracto líquido de lombricomposta (Fuente propia, 2019).	54
Figura 14. Almacenamiento de extracto líquido de lombricomposta en recipientes plásticos (Fuente propia, 2019).....	55
Figura 15. Metodología de dilución seriada para identificación de hongos y bacterias en medio PDA y LB (Fuente propia 2019).....	57
Figura 16. Diseño experimental por bloques para probar la eficiencia antifúngica del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.	58
Figura 17. Sustrato utilizado para llenar las macetas plásticas para la siembra de jitomate (Fuente propia 2019).	59
Figura 18. Siembra de semilla de jitomate en charolas de poliestireno (Fuente propia 2019).....	60
Figura 19. Trasplante de plántula de jitomate en bolsa plástica (Fuente propia 2019).....	61
Figura 20. Tutorado de plantas de jitomate (Fuente propia 2019).....	62
Figura 21. Cosecha de jitomate de producción orgánica (Fuente propia 2019). .	64
Figura 22. Halos de inhibición en las pruebas de antagonismo (Fuente propia, 2019).....	70
Figura 23. Estructuras reproductivas de los hongos presentes en el extracto líquido de lombricomposta (Fuente propia, 2019).....	71

Figura 24. Fotomicrografía donde se observan bacterias Gram positivas (bacilos) que se encuentran presentes en el extracto líquido de lombricomposta (aumento 100 x) (Fuente propia, 2019).....	72
Figura 25. Diámetros de tallo (cm) de las plantas de jitomate en el presente experimento.....	73
Figura 26. Altura de la planta (m) de las plantas de jitomate en el presente experimento.....	74
Figura 27. Rendimiento parcial (kg) de las plantas de jitomate en el presente experimento.....	75
Figura 28. Lesiones causadas por hongos fitopatógenos, mostrando las diferentes intensidades con las que las plantas fueron dañadas en el presente experimento.	76
Figura 29. Lesiones causadas por hongos fitopatógenos a plantas de jitomate en el presente experimento.....	78
Figura 30. Muestra la fuente de contaminación ambiental que infecto el cultivo en el que se estaba probando el extracto líquido de lombricomposta, hongos fitopatógenos identificados mediante la siembra de cultivo vegetal en medio PDA en el presente experimento.	79

Índice de tablas

	Página
Tabla 1. Parámetros usados para definir las características de los Residuos Sólidos Urbanos (Elías, 2009).	8
Tabla 2. Agrupamiento de residuos según su fuente de origen. Fuente: JICA-GDF, 2004.	9
Tabla 3. Composición de los Residuos Sólidos producidos en la República Mexicana (SEMARNAT, 2018).....	20
Tabla 4. Muestra las leyes vigentes sobre el manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la República Mexicana. SEMARNAT, 2003 y 2018, LGEEPA, 2018, Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos (última reforma DOF ENERO 2016).	26
Tabla 5. Condiciones óptimas para el proceso de compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (Rynk, 1992).	31
Tabla 6. Condiciones óptimas de diversas variables para el proceso de compostaje en relación al pH, temperatura y tamaño de las partículas (Rynk, 1992).	32
Tabla 7. Características de las distintas fases del proceso de compostaje (Moreno y Moral, 2008).	34
Tabla 8. Bioestimulantes orgánicos utilizados para la fertilización de las plantas de jitomate (Nutri Insumos Mexicanos, 2019).	62
Tabla 9. Valores asignados a diferentes daños por severidad (Gabriel, 2017)....	65
Tabla 10. Resultados de la caracterización química del extracto líquido de lombricomposta realizada a base de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.	69
Tabla 11. Conteo de UFC de bacterias (en LB) y hongos (en PDA) presentes en el extracto líquido de lombricomposta.	70

Tabla 12. Se muestran las posibles variedades de hongos presentes en el extracto líquido de lombricomposta y su abundancia.....	71
Tabla 13. Medias de los diámetros (cm) de tallo de las plantas de jitomate.	72
Tabla 14. Medias del largo de tallo (m) de las plantas de jitomate.	73
Tabla 15. Datos de la producción de fruto (kg) de las plantas de jitomate.....	74
Tabla 16. X ² (Chi cuadrada) de las lesiones causadas por hongos fitopatógenos a las plantas de jitomate en el presente experimento.	77

Resumen

Desde 1970, se comenzó a estudiar la supresividad natural y el control biológico de diversas compostas y lombricompostas frente a la gran variedad de patógenos de las plantas. Una vez que se probaron los beneficios de las compostas como enmiendas para los suelos, se comenzaron a explorar otras opciones para el combate de patógenos en las partes aéreas de las plantas, es por eso que comenzó a evaluarse la utilización de los téis de composta, los extractos de lombricomposta entre otras sustancias para poder mitigar la severidad de los daños causados por estos patógenos. Cabe señalar que dependiendo del tipo de composta de la que se trate, se pueden presentar distintos efectos supresores.

En el presente estudio se busca evaluar la efectividad del extracto líquido de lombricomposta como antagonista de hongos fitopatógenos tanto *In vitro* como *In vivo* en el cultivo de jitomate saladette, durante un periodo de tiempo comprendido del 25 de abril de 2019 al 29 de noviembre de 2019. La actividad antifúngica del extracto líquido de lombricomposta elaborado a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto fue analizado *In Vitro* contra dos hongos fitopatógenos como lo son *Fusarium spp* y *Rhizopus spp*, que afectan cultivos de interés agrícola, e *In Vivo* donde se realizaron pruebas para verificar la eficacia del extracto líquido de lombricomposta contra microorganismos que se encuentran presentes en el ambiente como es el caso de hongos y bacterias. Se realizaron tres aplicaciones foliares semanales para comprobar la efectividad del extracto tanto en el combate de enfermedades como el efecto positivo que tiene en el crecimiento de la planta. Los resultados mostraron que no hubo antagonismo a nivel laboratorio y a su vez no hubo efecto en el control de enfermedades a nivel invernadero.

Abstract

Since 1970, the natural suppressiveness and biological control various composts and earthworms began to be studied against the great variety of plant pathogens. Once the benefits of compost as soil amendments were tested, other options for combating pathogens in the aerial parts of plants began to be explored, that is why the use of compost teas began to be evaluated, vermicompost extracts among other substances to mitigate the severity of the damage caused by these pathogens. It should be noted that depending on the type of compost in question, different suppressive effects may occur.

In the present study, the aim is to evaluate the effectiveness of the liquid vermicompost extract as an antagonist of phytopathogenic fungi both *in Vitro* and *in Vivo* in the tomato saladette culture, during a period of time from April 25, 2019 to November 29, 2019. Antifungal activity of the vermicompost liquid extract made from household organic solid waste and eucalyptus leaf litter was analyzed in Vitro against two phytopathogenic fungi such as *Fusarium spp.* and *Rhizopus spp.* which effect crops of agricultural interest, and In Vivo where tests were performed. Against microorganisms that are present in the environment such as fungi and bacteria. Three weekly foliar applications were made to check the effectiveness of the extract both in the fight against diseases and the positive effect it has on the growth of the plant. The results showed that there was no antagonism at the laboratory level and, in turn, there was no effect on the control of diseases at the greenhouse level.

1. Introducción

En México se generan diariamente 102,895 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se colocan en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados (SEMARNAT, 2017). Además, predomina el manejo básico de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se colocan en rellenos sanitarios, desaprovechando aquellos que pueden ser reutilizados, disminuyendo la explotación de recursos nuevos. Por lo que, a diferencia de países europeos como Alemania o Suiza, donde su disposición es del 5%.

Es importante considerar que con el paso de los años la agricultura ha jugado a través de la historia un papel significativo en la economía de México. Sin embargo, es de tomar en cuenta que desde los años 80's y 90's fue una de las actividades más importantes en donde la población dedicada a ese rubro tuvo su fuente de sustento. Actualmente esta actividad se está perdiendo, aunque no por esto deja de ser aún substancial para la economía del país, debido a que muchos factores han repercutido en ello, como lo son los precios de las cosechas, por lo que el producto no tiene un valor redituable comparado con los gastos que conlleva obtener la misma. Por ejemplo, la utilización de fertilizantes químicos, además de generar costos elevados, ocasionan diversos problemas ambientales como: contaminación de suelo y agua, así como la alteración de los recursos naturales, por lo que para restaurar los suelos podemos utilizar algunos abonos orgánicos (compostas) los cuales suministran elementos esenciales y mejoran algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Gómez, 2000; Rosas, 2003; Zapata, 2005).

Como lo indican Hernández y Hansen (2011), el desarrollo de la agricultura y su intensa producción obliga al uso indiscriminado de diversos productos químicos, y de prácticas culturales que han provocado la erosión, pérdida de fertilidad y contaminación del suelo, así como la reducción de la calidad ambiental y en los alimentos.

Hoy en día, los abonos orgánicos son una opción para proporcionar las propiedades adecuadas al suelo y los requerimientos nutrimentales a las plantas, remplazando en parte a los agroquímicos, disminuyendo así los efectos secundarios que afectan la salud tanto del productor como del consumidor (Casco e Iglesias, 2005).

Por todo lo anterior, se busca identificar los principales componentes microbiológicos y químicos del extracto líquido de lombricomposta, a partir de Residuos Sólidos Domiciliarios con eucalipto para conocer sus propiedades generales y nutrimentales e implementar su uso en agricultura.

En esta investigación se pretende validar los componentes del extracto líquido de lombricomposta en laboratorio para posteriormente valorar agrónomicamente los beneficios del extracto líquido de lombricomposta, obtenido a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto en el cultivo de jitomate en invernadero.

El presente trabajo se realizó en el edificio Multi laboratorios EMA 6, en la Preparatoria Benito Juárez García, ambos pertenecientes a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la fase de invernadero se realizó en Chipilo, Puebla.

1.2. Justificación

Siendo el agroecosistema un ambiente en donde interactúan componentes biológicos, físicos y químicos, influenciados por factores ambientales, cuando uno de esos componentes es alterado sus efectos repercuten en los demás. El uso de un agroquímico en la producción agrícola puede llevar a efectos de control en un objetivo particular, pero crear efectos negativos en los demás seres vivos, incluyendo al ser humano. Por ello, es necesario investigar si existen otros productos que aporten beneficios o permitan controles, pero que sean más amigables con el ambiente. En ese sentido se piensa que si la lombricomposta tiene efectos beneficios en la nutrición vegetal y posiblemente en otras funciones por cuanto a las plantas tienen mejor desarrollo, si de ella se hace un extracto líquido y se aplica a las plantas ¿podrán aportar nutrientes y controlar enfermedades en las plantas? Este trabajo de investigación es una primera búsqueda de efectos en el cultivo de jitomate, del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios, estimando el rendimiento parcial y la calidad de la producción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Caracterizar el extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto para evaluar la actividad antifúngica tanto en laboratorio como a nivel invernadero en el cultivo de jitomate.

1.3.2. Objetivos particulares

- Obtener un extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto.
- Realizar un análisis químico del extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de RSOD con hojarasca de eucalipto.
- Establecer el uso potencial del extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de RSOD con hojarasca de eucalipto en el cultivo de jitomate en invernadero.

1.4. Hipótesis

El extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto, posee propiedades antifúngicas.

El extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto, presenta un efecto de inocuidad en el cultivo de jitomate.

El extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto, presenta mayor rendimiento parcial en el cultivo de jitomate.

El extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto presenta valores óptimos en su análisis químico.

1.5. Revisión de literatura

1.5.1. Residuos sólidos

Los residuos han existido desde que la vida empezó en el planeta. A medida que el hombre ha evolucionado y progresado, ha aumentado la generación de estos, lo que eleva la presión de las necesidades energéticas y la presión en el medio en el que se desarrolla.

Por ejemplo, en México durante la etapa de industrialización, en la segunda mitad del siglo XX, se generó un aumento poblacional que produjo una mayor demanda de bienes y servicios, lo que representó la generación de residuos de diversos tipos y problemas asociados a su adecuada disposición, así como afectaciones a los ecosistemas y a la salud humana (Cruz, 2013).

Uno de los mayores problemas en la actualidad es el volumen de los desperdicios que produce el hombre; sus niveles representan un inconveniente de recolección y eliminación, puesto que no se pueden desechar en cualquier sitio; por lo que el reto es darles un tratamiento adecuado para evitar contaminar y preservar el entorno natural, lo que puede representar costos elevados en el tratamiento de los residuos. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2018), define el término *residuos* como “aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos”; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2003). En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos:

- Residuos sólidos urbanos (RSU).
- Residuos de manejo especial (RME).
- Residuos peligrosos (RP).

1.5.1.1. Residuos sólidos urbanos

Desde la aparición de las primeras sociedades urbanas, los Residuos Sólidos se han convertido en una de las preocupaciones ambientales más importantes.

Este problema se origina por el cambio de la sociedad hacia ideales consumistas que promueven un desmesurado aumento en el volumen de Residuos Sólidos Domiciliarios. En su mayoría conformados por productos de poca duración (embalajes, envoltorios y envases de todo tipo) y difícilmente reutilizables.

En la actualidad, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2018), publicada en 2003, define en su artículo 5 sección XXXIII a los *Residuos Sólidos Urbanos* (RSU) como:

“los desechos generados en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (p. e., de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (DOF, 2003).

Por otra parte, la Norma Técnica de los Residuos Sólidos 1 de terminología (NTRS-1) plantea en su apartado 2.40 el siguiente concepto: *Residuo Sólido Municipal*: “Aquello que se genera en casa habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes inmuebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio en general y todos aquellos generados en actividades municipales que no requieren técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación”.

Esquer (2009) define a los “*Residuos Sólidos Urbanos*” como el conjunto de materiales residuales sólidos o mezclados con pequeñas cantidades de agua que por el estado de división o deterioro se consideran inservibles o sin valor para la sociedad. Así mismo se puede considerar de esta otra manera: es lo que el hombre desecha porque ya no le sirve, lo factible de descomponerse y lo que no sufre degradación, ya sea de origen animal, vegetal o inorgánico. También se pueden definir como el conjunto de elementos heterogéneos resultantes de desechos o desperdicios del hogar o de la comunidad en general.

Elías (2009) define *Residuos Sólidos Urbanos* (RSU) como aquellos que se generan en espacios urbanos como consecuencia de (servicios, mercados, hospitales, oficinas, hostelería, entre otros), consumos domésticos y tráfico (papeleras y residuos varios de pequeño y gran tamaño).

La solución a estos problemas tiene diversas vertientes:

- **Adopción de acciones preventivas** que eviten en la fabricación de productos de poca duración.
- **Adopción de medidas de tratamiento** de los residuos que posibiliten encajarlos en su ciclo natural de descomposición.
- **Adopción de medidas legales y fiscales** destinadas a racionalizar el consumo.

La caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos es uno de los temas de mayor trascendencia, ya que a partir de la descripción de un residuo se pueden proponer diversas rutas de tratamiento y disposición final (Elías, 2009) (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros usados para definir las características de los residuos sólidos urbanos (Elías, 2009).

Parámetros que definen las características de los RSU		
Cualitativos		Cuantitativos
Composición	Inflamabilidad	Volumen
Concentración de orgánicos	Zonificación	Producción <i>per capita</i>
Porosidad	Reciclabilidad	Densidad
Densidad	Putrescibilidad	Concentración y % de fracciones
Peso específico	Biodegradabilidad	Toxicidad
Humedad	Reactividad	Manejabilidad
Olor	Compresibilidad	
Solubilidad	Relación C/N	
Volatilbilidad	Poder calorífico	

1.5.1.2. Origen y composición de los Residuos Sólidos Urbanos

La generación de los Residuos Sólidos ha venido variando tanto en cantidad como en composición, en la medida que el desarrollo industrial se ha consolidado. Conocer la composición de los Residuos Sólidos es importante para poder enfrentar

adecuadamente su manejo. El conocimiento de "qué se produce" y "cómo se produce", permite no sólo conocer el desarrollo de las sociedades sino también describir la relación existente entre el hombre y la naturaleza (Elías, 2009).

Son grandes las posibilidades para llevar a cabo acciones que permitan el rehúso de los residuos, mediante la selección y clasificación de los subproductos. La separación de los subproductos de la basura trae consigo la operación de pequeñas empresas dedicadas al reciclaje y transformación de nuevos productos. En el caso de los residuos alimenticios, a través de sencillos tratamientos se puede transformar en composta (fertilizante orgánico) o en alimento para animales (Elías, 2009).

Asimismo, se puede utilizar el papel y el cartón para obtener, cartón gris, cartoncillo, envases de tomate y frutas, cajas de zapatos, láminas acanaladas, etc. De esta forma, además de aprovechar los Residuos Sólidos se contribuye a preservar los recursos naturales y a elevar la vida útil de los sitios de disposición final, al depositarse en ellos menor cantidad de residuos. En grandes volúmenes se consideran de manejo especial (Tabla 2).

Tabla 2. Agrupamiento de residuos según su fuente de origen. Fuente: JICA*-GDF, 2004 (*Agencia para la Cooperación Internacional del Japón).

Agrupamientos de los Residuos Sólidos Orgánicos según su fuente	
Fuente	Origen específico
Domiciliarios	Unifamiliares
	Multifamiliares
Comerciales	Establecimientos comerciales
	Mercados
	Restaurantes y bares
	Centros de espectáculo y recreación
Servicios	Servicios públicos
	Hoteles
	Oficinas públicas
	Centros educativos

Continuación **Tabla 2.**

	Jardinería
	Unidades medicas
	Laboratorios
	Veterinarias
	Transporte
	Puertos
	Aeropuertos
Especiales	Terminales terrestres
	Terminales ferroviarias
	Terminales portuarias
	Vialidades
	Centros de readaptación social
	Materiales de construcción y demolición
Otros	Actividades pesqueras, silvicultura, forestales, avícolas, ganaderas.

1.5.1.3. Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos

Existen diversas características, clasificaciones y composiciones de los Residuos Sólidos Urbanos; algunas de ellas son:

1.5.1.3.1. Residuos Orgánicos: Aquellos procedentes de materia viva (vegetal o animal), cuyo componente principal es el carbono (C) como los generados en las industrias de alimentos, parques y jardines, entre otros.

1.5.1.3.2. Residuos Inorgánicos: Estos provienen de materia inerte, debido a su composición, son considerados no biodegradables; conservan sus propiedades y forma por lo que, como materia prima, pueden ser utilizados en diversas industrias: plásticos, metales, vidrio, etc. (Figura 1).

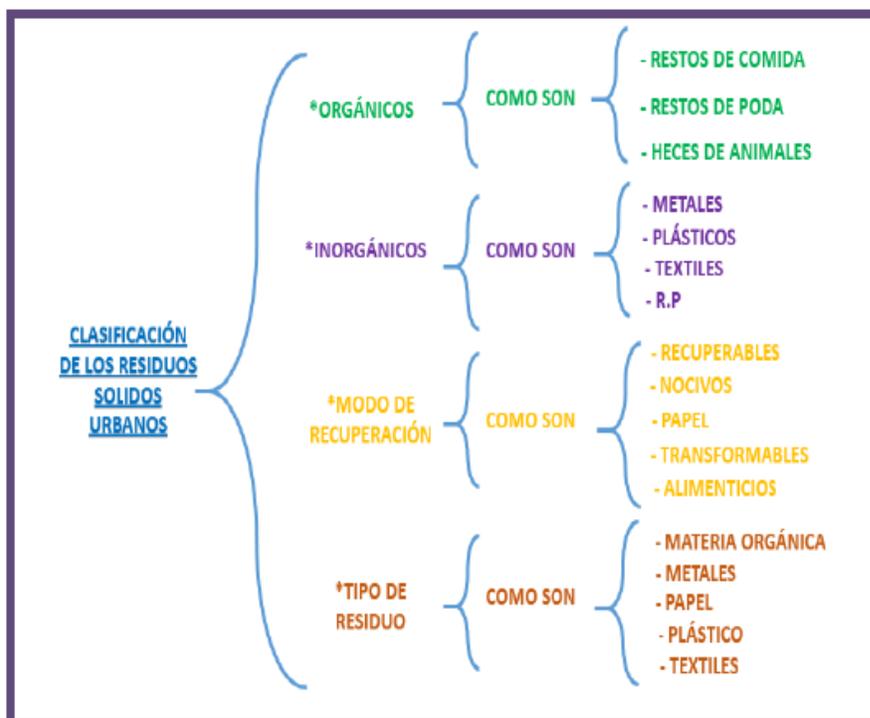


Figura 1. Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos (TECUMI, 2017).

1.5.1.4. Por su origen

1.5.1.4.1. Basura orgánica: es la de cualquier naturaleza que se puede descomponer por procesos naturales, dentro de un periodo razonable. Son los derivados de la preparación de los alimentos, productos de comidas, desechos de mercados (basura cruda), desperdicios de fábrica, desperdicios agropecuarios, animales muertos, etc. (Figura 2).

1.5.1.4.2. Desperdicios comerciales de comidas: Incluye restos de comida originados en escuelas, restaurantes, regimientos u hoteles; es común que estos sean recolectados por separado y comerciados como alimento para animales.

1.5.1.4.3. Desperdicios comerciales: Son aquellos derivados de la operación y mantenimiento de establecimientos industriales, comerciales, talleres, y comprenden básicamente, material de embalaje, cartón, papel y otros desperdicios sólidos.

1.5.1.4.4. Basura doméstica: Está formada por los residuos generados en los hogares, como restos de comida (huesos, restos de legumbres o flores), vidrios, papel, polvo, plásticos, madera, hojalata y en algunas ocasiones excreta humana o

de animales domésticos, entre otros; en las costas se consideran además los desechos de plantas tropicales (restos de cocos, piña, sandías) y restos similares identificados como “basura orgánica” que se producen en cantidades elevadas.

1.5.1.4.5. Despojos: Es la basura no incluida en los puntos anteriores, la cual consta de vidrios, llantas, botes vacíos, etc.

1.5.1.4.6. Basura de establos y caballerizas: Constituida principalmente por estiércol, paja, pelos, restos de follaje, etc.

1.5.1.4.7 Basura de la calle: Está compuesta por hojarascas, ramas, tierra, papeles, colillas de cigarrillos, arenas, animales muertos, etc.

1.5.1.4.8. Desperdicios dependientes de mercados ambulantes, ferias, vendedores ambulantes y otras: Son otros restos de comidas, fruta, verduras, papeles, etc.

1.5.1.4.9. Escombros: Son aquellos restos fraccionados de material de demolición (cascajo), tales como adobes de tierra, tierra de revoque, cartón, pedacería de madera, etc.

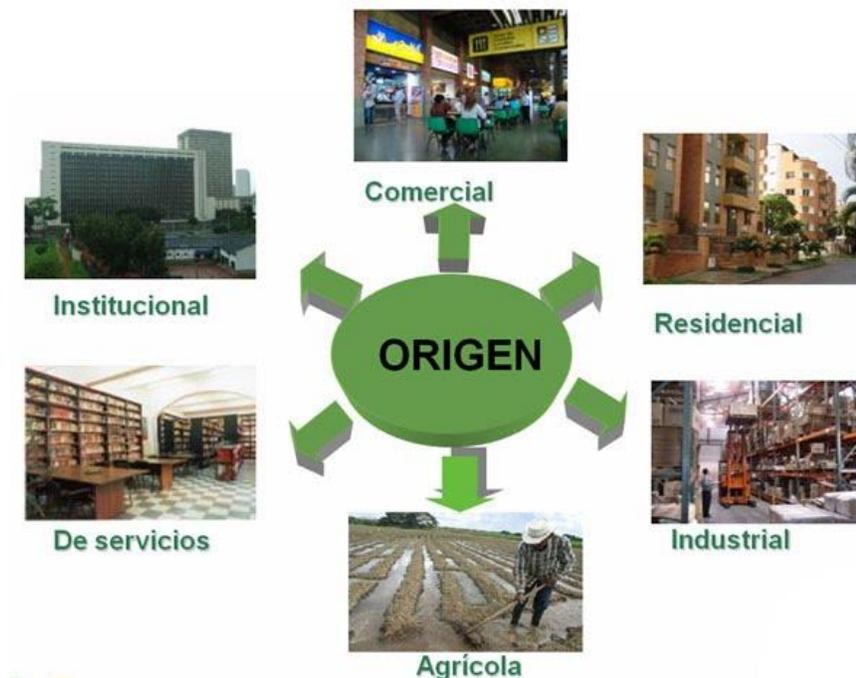


Figura 2. Muestra la generación de Residuos Sólidos Urbanos por su origen (<https://sites.google.com/site/residuossolidosav/clasificaci>).

1.5.1.4.10. Cenizas: Se refiere a los residuos provenientes de la combustión del carbón, madera y otros materiales utilizados en el hogar, industria o establecimientos comerciales con propósitos de calefacción y productos de la misma energía.

1.5.1.5. Características físico-químicas

Por otra parte, los Residuos Sólidos se pueden clasificar desde su composición físico-química (Esquer, 2009).

1.5.1.5.1. Orgánica: En su mayor parte de origen vivo: como restos de animales, maderas, flores, alimentos, etc.

1.5.1.5.2. Inorgánicos: Por su composición no orgánica: latas, vidrios, arenas, polvos, cascajo, plásticos, etc.

1.5.1.5.3. Combustible: Que corresponde a cualquier material que se pueda quemar fácilmente como madera, papel, cartón, etc.

1.5.1.5.4. No combustible: Todos aquellos materiales que no se queman y son difíciles de cremar como latas, metales, vidrios, cenizas, plásticos, productos químicos, etc.

1.5.1.5.5. Biodegradables: Aquella que se degrada por sí misma, en esta se considera toda la basura orgánica, como restos de comida, flores, etc.

1.5.1.5.6. No biodegradables: Como plásticos, bolsas de poliestireno, materiales similares y químicos, algunos metales de difícil descomposición y cremación.

1.5.1.6. Por su producción

Los Residuos Sólidos Urbanos se clasifican por su producción, de la siguiente manera (Esquer, 2009).

1.5.1.6.1. Desechos domésticos: Proviene de viviendas unifamiliares, conjuntos habitacionales, hoteles, restaurantes, etc.

1.5.1.6.2. Desechos sólidos industriales: son resultado de la producción de las industrias, tal como ligera, pesada, alimentaria, parques industriales e industrias con residuos peligrosos.

1.5.1.6.3. Desechos institucionales y públicos: son los que se generan en hospitales, clínicas, vías públicas, edificios públicos, instalaciones recreativas, etc.

1.5.1.6.4. Desechos de manejo especial: Todos aquellos que por su composición o volumen requieren de un manejo especial, como son los residuos agropecuarios, agroindustriales, centros comerciales, centrales de abasto, etc.

1.5.1.7. Clasificación de tipos de basura por contenido de humedad

1.5.1.7.1. Tipo I. Contenido de humedad 25%: Basura combustible, cartón, viruta de madera aserrín y barridos domésticos, comerciales e industriales.

1.5.1.7.2. Tipo II. Contenido de humedad 50%: basura residencial, departamental, clínicas, etc.

1.5.1.7.3. Tipo III. Contenido de humedad 70%: desperdicios de animales y vegetales de restaurantes, hoteles, mercados, supermercados, cafeterías, hospitales y clubes.

1.5.1.7.4. Tipo IV. Contenido de humedad 100%: Partes humanas y animales, huesos amputaciones, desechos de laboratorios y hospitales.

Existen otro tipo de residuos principalmente industriales, que no se consideran en las clasificaciones y pueden ser incineradas. El porcentaje de humedad y características de las mismas deben ser catalogadas especialmente para cada caso de 400 kg /cm³.

1.5.1.8. Por su recuperación

1.5.1.8.1. Residuos recuperables o reciclables: Son todos aquellos que después de su separación y selección, pueden ser comerciados en diversas industrias que, posteriormente pueden reincorporarlos al ciclo de consumo.

1.5.1.8.2. No recuperables nocivos (peligrosos): Este grupo comprende básicamente aquellos desperdicios provenientes de hospitales, sanatorios, casas de cuna, enfermerías, clínicas y consultorios médicos; así mismo a cierto tipo de industrias que estén dentro o en ciertos lugares conurbanos de la ciudad. Este tipo de residuos pueden ser muy peligrosos y se les debe un tratamiento especial para Residuos Peligrosos (confinamiento especial)

1.5.1.8.3. No recuperables inertes: son aquellos como tierra, piedras, cascajo, etc. que solo pueden utilizarse como material de relleno.

1.5.1.8.4. Transformables: Comprenden todos los residuos susceptibles a ser transformados mediante diversos procesos mecánicos, biológicos o químicos, en

productos inocuos y aprovechables, quedando abarcados en este grupo los desperdicios fundamentalmente orgánicos.

1.5.1.8.5. Residuos Alimenticios: En estos se encuentran todos los restos de comidas ya sean del hogar, restaurantes, hoteles o similares así mismo residuos de parques y jardines de residuos agrícolas y así como también de residuos industriales de naturaleza orgánica.

1.5.1.9. Por su tipo

1.5.1.9.1. Materia orgánica: Todo aquello que sufre un proceso natural de descomposición, como restos de fruta, vegetales, hojas, ramas, infusiones, moluscos, entre otros.

1.5.1.9.2. Metales: son todos los residuos provenientes de operaciones donde se emplearon metales o aquellos que dentro de su composición contengan algún tipo de metal, tales como el acero, hierro, bronce, cobre, estaño, entre otros, además de los metales peligrosos como el plomo, mercurio, litio, cadmio, etc., que requieren de un manejo especial, así como disposición en sitios controlados especiales.

1.5.1.9.3. Papel: Material obtenido a base de fibras vegetales de celulosa que, entrelazadas, forman una hoja flexible. Es el elemento de mayor generación y también el más susceptible de ser reciclado. Dentro de este punto se consideran: hojas de papel de uso diario, papel de envoltura y embalaje, cartón, etc.

1.5.1.9.4. Plástico: son sustancias que contienen como ingrediente esencial una sustancia orgánica de masa molecular llamada polímero. Entre los principales ejemplos de residuos de plásticos se encuentran: botellas de agua y refresco, envolturas, bolsas, tuberías artefactos domésticos, entre muchos más.

1.5.1.9.5. Vidrio: el vidrio es un material duro frágil y transparente que ordinariamente se obtiene por fusión a unos 1500 °C de arena de sílice, carbonato de sodio y caliza. Algunos residuos de vidrio son: botellas, envases, vasos, cristales de ventanas, etc. Completos o en fragmentos.

1.5.1.9.6. Textiles: Son aquellos desperdicios derivados del consumo humano para satisfacer su necesidad de limpieza, vestimenta y abrigo: ropa de cama, cortinas, residuos de ropa, etc.

1.5.1.9.7. Otros: Todos aquellos residuos que, por su composición, no pueden ser clasificados en las otras categorías, y que generalmente se originan en sistemas productivos peligrosos, especiales o médicos.

1.5.1.9.8. Residuos de manejo especial

Según la fracción XXX, artículo 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2018) son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de Residuos Sólidos Urbanos.

La ley de Residuos Sólidos de la Ciudad de México establece, en su artículo 3 apartado XXX, que se considera como Residuo de Manejo Especial a “los que requieren sujetarse a planes de manejo específicos con el propósito de seleccionarlos, acopiarlos, transportarlos, aprovechar su valor o sujetarlos a tratamiento o disposición final de manera ambientalmente adecuada y controlada”.

Algunos ejemplos de este tipo de residuos son:

- Podas de jardinería.
- Transporte (aceites y gasolina).
- Vialidades (derivados del petróleo).
- Tiendas departamentales, centros comerciales, centrales de abasto y similares.
- Centros de readaptación social.
- Materiales de construcción y demolición.

1.5.1.9.9. Residuos sólidos peligrosos

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosivo, reactivo, explosivo, toxico, inflamable, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad (CRETIB), así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en la LGPGIR (fracción XXXII, artículo 5).

1.5.1.9.10. Residuos Sólidos Urbanos de parques y jardines

Por sus características, su humedad y su capacidad de descomposición rápida, este tipo de residuos desprenden gases como el metano, el cual está involucrado en el

cambio climático global. La generación de Residuos Sólidos Urbanos de jardinería de las grandes urbes ocupa una cantidad considerable de residuos orgánicos municipales (Bustani, 1994).

Diversos países de América y Europa entre los que destacan Estados Unidos y España realizan prácticas de manejo de sus desechos de jardinería principalmente en sus campos universitarios, efectuando un manejo holístico de los residuos orgánicos, transformándolos en materia orgánica aprovechable a través de los abonos.

1.5.1.10. Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Según Hoorweg y Bhada-Tata, 2012, la producción mundial diaria de Residuos Sólidos Urbanos alcanzó alrededor de 1,300 millones de toneladas y se estima que para el año 2025 alcance los 2,200 millones.

Por otra parte, la SEMARNAT (2018), indica que existe una disparidad regional respecto al volumen global generado de RSU, ésta determinada generalmente por la población urbana de cada región, así como su desarrollo económico. Por ejemplo, en el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta corresponden a países con las economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y el 12% del total fue generado sólo detrás de los países que integran las regiones del Pacífico y del este de Asia. La cantidad de Residuos Sólidos Urbanos generados por habitante y día no son uniformes, sino que dependen de varios factores como pueden ser:

- **El nivel de vida:** en las colonias de nivel de vida más elevado los Residuos Sólidos son mucho más abundantes y diversos que en las colonias más pobres.
- **La localización:** la producción de los Residuos Sólidos Urbanos varía dependiendo de la localización de la zona.
- **La variación estacional:** en verano se consumen más frutas y verduras incrementándose la producción de residuos con un alto contenido en materia orgánica.

El incremento en la generación de Residuos Sólidos Urbanos es consecuencia de diversos factores, entre los que destacan el desarrollo industrial, el crecimiento

urbano, diseño e innovación tecnológica, entre otros que generan cambio en los patrones de consumo de cada población. Según la SEMARNAT (2018), el caso de México, como el de muchos otros países, en el crecimiento de la generación de RSU está vinculado al Producto Interno Bruto (PIB) nacional y la elevación de hábitos de consumo, por ejemplo, en 2003 y 2012, el producto interno bruto (PIB) y la generación de residuos crecieron prácticamente a la misma tasa (alrededor de 2.77% anual), es decir, en el caso de la República Mexicana, aquellas entidades que contribuyeron en mayor medida al PIB nacional, también generaron mayores RSU.

No obstante, existen casos que se desvían de esta tendencia, como el del Estado de México, cuya generación de residuos es mayor a su contribución al PIB, resultado de su importante actividad industrial y su elevada población; caso contrario de entidades como Campeche que producen menos de lo esperado debido a su intensa actividad petrolera, pero baja población.

Con lo anterior, se entiende que la generación de residuos varía geográficamente y con respecto a la distribución de la población de cada región; a mayor densidad de población, mayor volumen en la generación de residuos.

De acuerdo con la regionalización de la SEDESOL, en 2012, la generación de Residuos Sólidos Urbanos se puede observar de la siguiente manera:

- El 51% se concentró en la región centro.
- El 16.4% en la Frontera Norte.
- La Ciudad de México concentra el 11.8%.

En el caso interno de las regiones, entre 1997 y 2012 se observa un patrón heterogéneo, por ejemplo:

- La región Frontera Norte representa un 21.4% (mismo que mostró una reducción del 25% en el mismo periodo, paso de 6 a 4.5 millones de toneladas de RSU).
- La zona Centro comprende un 53%
- La zona Sur muestra un 49%
- La Ciudad de México aumentó un 20%

Si se clasifica a las entidades federativas por el volumen de RSU producidos, cinco concentraron el 45.7% en 2012 (SEMARNAT, 2018): el Estado de México (6.7 millones de t; 16.1% del total nacional), la Ciudad de México(4.9 millones de t; 11.8%), Jalisco (3.1 millones de t; 7.2%), Puebla (3 millones de t; 3%), Veracruz (2.3 millones de t; 5.5%) y Nuevo León (2.2 millones de t; 5.1%); mientras que las que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit (347 mil t; 0.82%), Tlaxcala (339 mil t; 0.81%), Campeche (272 mil t; 0.65%), Baja California Sur (259 mil t; 0.62%) y Colima (228 mil t; 0.5%).

Como se ha mencionado la generación de residuos está relacionada al proceso de urbanización de cada país y sus hábitos de consumo; a mayor poder adquisitivo de la población, mayor consumo de bienes y servicios, lo que produce mayores residuos; por el contrario, los habitantes de zonas rurales o semiurbanas, basan su consumo principalmente en productos orgánicos, locales o de menor proceso de manufactura y embalaje, lo que genera menor cantidad de residuos.

Según datos de la SEMARNAT (2018), entre 1997 y 2012, la generación de residuos por tipo de localidad se evidencia de la siguiente manera (Tabla 3):

- Ciudades pequeñas incrementaron en un 84% su volumen de generación de residuos, pasaron de 1.9 a más de 3.5 millones de toneladas.
- Las zonas metropolitanas elevaron su volumen de residuos en un 61%, pasando de 11.2 a 18 millones de toneladas.
- Las ciudades medias pasaron de 11.8 a 15.8 millones de toneladas, lo que representa un incremento del 34%
- Las localidades rurales pasaron del 4.4 a 4.7 millones de toneladas, lo que representa un menor crecimiento porcentual.

Según datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN, 2016) las cifras reportadas a nivel nacional en los últimos años presentan limitaciones importantes, principalmente porque refieren estimaciones calculadas (y no mediciones directas) por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la Generación de Residuos Sólidos. Según dicha dependencia, en 2011 se generaron alrededor de 41 millones de toneladas de RSU, lo que

equivale a cerca de 112.5 mil toneladas de residuos diarios. Entre 2003 y 2011, como resultado del desarrollo industrial, crecimiento urbano, modificaciones tecnológicas y hábitos de consumo, creció un 25%.

Tabla 3. Composición de los Residuos Sólidos producidos en la República Mexicana (SEMARNAT, 2018).

Composición de los residuos por zona geográfica y por tipo de subproducto (valores en %)					
Subproducto	Frontera norte	Norte	Centro	Sur	CDMX
Cartón	3.973	4.366	1.831	4.844	5.360
Residuos finos	1.369	2.225	3.512	8.075	1.210
Hueso	0.504	0.644	0.269	0.250	0.080
Hule	0.278	0.200	0.087	0.350	0.200
Lata	2.926	1.409	1.700	2.966	1.580
Material ferroso	1.183	1.476	0.286	0.399	1.390
Material no ferroso	0.226	0.652	0.937	1.698	0.060
Papel	12.128	10.555	13.684	8.853	14.580
Pañal desechable	6.552	8.308	6.008	5.723	3.370
Plástico película	4.787	5.120	1.656	1.723	6.240
Plástico rígido	2.897	3.152	1.948	1.228	4.330
Residuos alimenticios	26.972	21.271	38.538	16.344	34.660
Residuos de jardinería	16.091	19.762	7.113	26.975	5.120
Trapo	1.965	2.406	0.807	2.157	0.640
Vidrio de color	2.059	0.934	4.248	0.599	4.000
Vidrio transparente	4.590	5.254	5.051	3.715	6.770

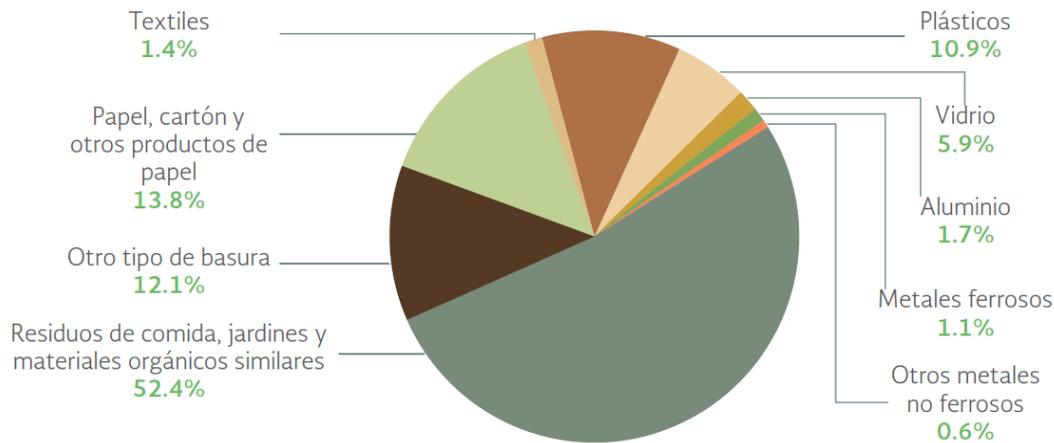


Figura 3. Composición de los Residuos Sólidos urbanos generados en México (INEGI, 2013).

1.5.1.10.1. Manejo y disposición final de los residuos

Un manejo adecuado de los Residuos Sólidos Urbanos, además de proteger la salud de la población, evitará trastornos a los ecosistemas y su fauna, así como la reducción de enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios y sus toxinas. No obstante, el manejo de estos no es la adecuada en el país, puesto que es común que los residuos se depositen en depresiones naturales, como cañadas o barrancas, espacios abiertos o cercanos a vías de comunicación o arroyos; lo que deteriora el entorno local y su vida silvestre; además de que evidencia la falta de educación e información sobre su manejo, por lo que el proceso de reciclaje y disposición final se desarrolla posteriormente a la recolección, lo que complica su tratamiento.

El manejo adecuado de los residuos provee diversas soluciones, considerando diversas perspectivas (SEMARNAT, 2018).

- Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, el reciclaje y re uso de diversos materiales, reduce la presión y erradicación de recursos naturales, se reduce el uso de agua y energía, utilizados principalmente en la extracción y procesamiento de recursos; mitiga los impactos negativos en el ambiente lo que genera mejor calidad ambiental (aire, agua, etc.) y disminuye problemas de salud.
- Desde el punto de vista económico, un menor volumen de residuos reduce los costos de operación que requieren para su disposición final.

Según estimaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en sus países miembro, los costos y recursos destinados al

manejo y tratamiento de residuos ascienden a cerca de un tercio de los recursos financieros destinados al sector público para el abatimiento y control de la contaminación.

En 2010, en los cerca de 2,400 municipios de la República Mexicana de los que se obtuvo información se recolectaron diariamente, en promedio, alrededor de 86,357 toneladas de RSU (SNIARN, 2016). De los residuos recolectados, 89% correspondió a recolección no selectiva y el restante 11% a recolección selectiva (es decir, a la separación de los RSU orgánicos e inorgánicos).

A nivel estatal, las entidades que reportan el mayor porcentaje de separación fueron Querétaro (57%), Jalisco (40%), Nuevo León (30%), Ciudad de México (18%) y Estado de México (15%). Por el contrario, las entidades que reportaron la no separación de sus residuos fueron Baja California, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Coahuila, Guerrero, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Zacatecas (SNIARN, 2016) (Figura 4).



Figura 4. Muestra la generación de RSU por región (SEMARNAT, 2018).

1.6.1.10.2. Recolección

Scheinberg (*et al.*, 2010) nos dicen que la recolección es “un servicio público que comprende la colecta de los RSU en el sitio donde se producen (usualmente las casas, las industrias, los comercios o los edificios públicos) y su traslado hasta el sitio donde se tratan o disponen” lo que es una parte fundamental para su manejo y correcta disposición. Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, además de ser recolectados, una parte de los residuos pueden ser recuperados; por el contrario, si no se recolectan, pueden diseminarse, provocar enfermedades a la población y fauna local o ser fuente de contaminación a cuerpos de agua y suelo, provocar inundaciones al obstruir desagües y cursos de agua, deteriorar el paisaje. Según datos de Hoornweg y Bhada-Tata, 2012, el nivel de recolección de los residuos difiere entre países y regiones.

- Los países de ingresos altos recolectan un porcentaje mayor de los residuos generados logrando un 98%
- Las economías de bajos ingresos recolectan apenas un 41%
- En los países de la OCDE, se colectan alrededor del 98%
- En África la cifra de recolección alcanza 46%.
- En el caso de Latinoamérica y el Caribe, la recolección se encuentra alrededor del 78%.

En México, según datos del SNIARN (2016), en 2012 la recolección ascendía al 93.4% de los residuos generados, esto es, 8.8 unidades porcentuales por arriba de su valor. En 1998 se recolectaba cerca del 85% de los residuos generados en el país, cifra que en 2011 alcanzó 93%. Sin embargo, cuando se considera el tamaño de las localidades, la situación es distinta. En 2011, en las zonas metropolitanas del país, la cobertura en la recolección de los residuos alcanzó 90%, mientras que en las ciudades medias fue de 80%, en las pequeñas de 26% y en las localidades rurales o semi urbanas alcanzó 13%. En 2011, los estados que registraron la mayor recolección de RSU fueron Aguascalientes (98.8% del volumen generado), Baja California Sur (97.7%), Nuevo León (97.6%), Baja California (97.5%), Ciudad de México (97%), Querétaro (96.5%) y Tlaxcala (95.8%). Los estados con menor

recolección fueron Michoacán (85.8%), Estado de México (86.8%), Hidalgo (87.6%), Nayarit (89.3%), Veracruz (89.8%), Morelos (89.9%) y Tabasco (90.3%).

Por otra parte, a nivel local o regional, la capacidad de recolección varía según la zona: usualmente, en las zonas metropolitanas, en comparación a las rurales, la capacidad de recolección es mayor debido a que cuentan con una mejor infraestructura y presupuesto para la gestión de los residuos. Por ejemplo, en 2012, la cobertura en la recolección de los residuos alcanzó un 90%, mientras que en las ciudades medias fue de 80%, en las pequeñas de 26% y en las localidades rurales o semiurbanas alcanzó 13% (SEMARNAT, 2018).

A nivel nacional, el 95.6% de los municipios cuentan con servicio de recolección, y sólo Oaxaca presenta un número importante de entidades sin este servicio: 87 municipios; lo que representa el 3.5% de los municipios a nivel nacional y el 15% de los municipios de ese estado (CNGMD [Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones]; INEGI, 2013).

Para aumentar la calidad y cantidad de los materiales reciclables, es necesario que los residuos sean separados previos a su recolección; por el contrario, aquellos que no son separados, tienden a ser contaminados, lo que evita su reciclaje, un manejo correcto y la reducción de su valor en el mercado y su posible reciclaje.

1.6.1.10.3. Reciclaje

El proceso de reciclaje busca transformar materiales que componen algunos residuos y convertirlos en elementos reusables en los procesos productivos, como el vidrio, algunos metales, el PET (Tereftalato de polietileno), el papel o el cartón. Además, este proceso, beneficia la gestión de residuos, al disminuir el volumen de los materiales que requieren ser recolectados, transportados y dispuestos en sitios adecuados. Así mismo, también reduce el consumo de energía, agua, materias primas u otros insumos necesarios para procesar nuevos materiales.

Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2020) el volumen de materiales reciclados en México es reducido: en 2012 alcanzó alrededor del 9.6% del volumen de los residuos generados.

En comparación, la OCDE (2016), indica que los países miembros, en 2012, reciclaron en promedio alrededor del 24% de sus residuos, algunos países con

porcentajes cercanos o mayores al 50%, son Corea del Sur con 58% y Alemania 47%.

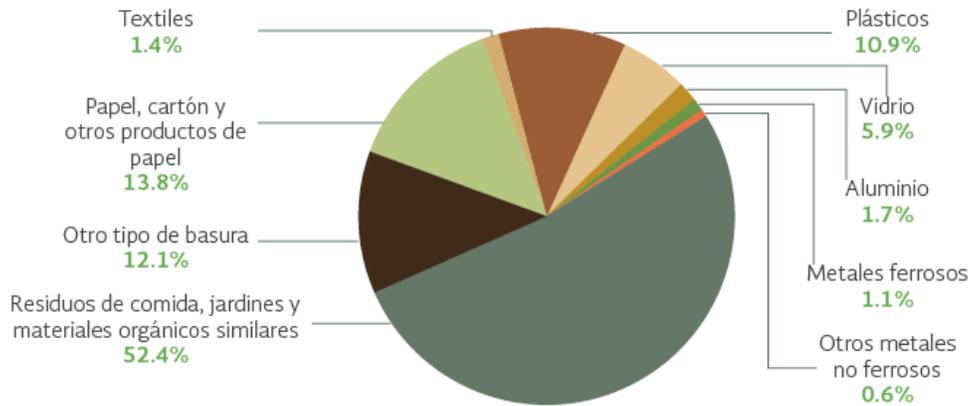


Figura 5. Porcentaje de aprovechamiento de materiales reciclables en México (SEDESOL, 2013).

1.5.1.11. Marco Legal-Normativo

El marco legal vigente que rige actualmente el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos se muestra en el siguiente cuadro. El detalle de estos preceptos se señala a continuación (Tabla 4):

Tabla 4. Muestra las leyes vigentes sobre el manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la República Mexicana. SEMARNAT, 2003 y 2018, LGEEPA, 2018, Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos (última reforma DOF ENERO 2016).

Instrumento Jurídico

Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

NOM-083-SEMARNAT-2003

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece conceptos relacionados con el cuidado del ambiente, los recursos naturales y la salud pública en los siguientes artículos:

Artículo 4. Establece el derecho que toda persona tiene a proteger su salud, indica que los desequilibrios a los ecosistemas no deben afectar a la población ni a los individuos.

Artículo 25. Señala que el uso y la explotación de los recursos productivos debe hacerse cuidando la conservación de los mismos y la del medio ambiente.

Artículo 27. Establece la necesidad de conservar los recursos naturales y de prestar atención a los centros de población para preservar y restaurar el equilibrio.

Artículo 73 (XXIX-G). Se refiere a la expedición de leyes en materia de protección al ambiente y de restauración del equilibrio ecológico.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, en materia de manejo de Residuos Sólidos establece lo siguiente:

Artículo 7. Corresponde a los estados de conformidad a lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes:

Fracción VI. La regulación en los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los Residuos Sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos de conformidad con lo dispuesto en el Art. 137 de la Ley.

Artículo 8. Corresponde a los municipios, de conformidad a lo dispuesto en esta ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

Fracción VI. La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los Residuos Sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos de conformidad en lo dispuesto en el Art. 137 de esta Ley queda sujeto a autorización de los municipios conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, re uso, tratamiento y disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos.

Artículo 137. La SEMARNAT expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción, la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos.

Artículo 138. La SEMARNAT promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

- I. La implantación y mejoramiento del sistema de recolección, tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos; y
- II. La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

El título sexto, De la prevención y manejo integral de Residuos Sólidos Urbanos y de manejo especial, señala:

Artículo 96. Define las acciones que deberán llevar a cabo las entidades federativas y los municipios en el ámbito de sus competencias para promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de manejo especial, a fin de proteger la salud y prevenir y controlar la contaminación.

Artículo 97. Refiere a que las normas oficiales mexicanas establecerán los términos a los que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final los Residuos Sólidos

Urbanos y de manejo especial. Los municipios regularán los usos del suelo de conformidad con los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano, en los cuales se considerarán las áreas en las que se establecerán los sitios de disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos y de manejo especial.

Artículo 98. Refiere a que las entidades federativas establecerán las obligaciones de los generadores, grandes y pequeños y las de los prestadores de servicios de residuos de manejo especial y formularán los criterios y lineamientos para su manejo integral.

Artículo 99. Define los criterios mediante los cuales, los municipios, de conformidad con las leyes estatales, llevarán a cabo las acciones para la prevención de la generación, valorización y la gestión integral de los Residuos Sólidos.

Derivado de la facultad que se confiere a nivel estatal y municipal, para el manejo de Residuos Sólidos Urbanos, existe un heterogéneo marco jurídico vigente; se puede considerar que cada localidad urbana con más de 15,000 habitantes, generalmente cuenta con un área responsable del servicio público de limpia, y un amplio número de instancias y entidades públicas relacionadas con este sector participan en la normalización, ejecución de proyectos y la gestión de los servicios. Cabe resaltar que el marco legal-normativo actual confiere una mayor participación a organismos e instituciones tanto del sector público como del sector privado y social; y demanda un incremento en la coordinación y congruencia en las políticas públicas para el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en los tres órdenes de gobierno.

1.5.2. El abono orgánico

Existen gran variedad de definiciones relacionadas con el tema, sin embargo, se considera que la siguiente tiene un sustento sólido. El “Abono orgánico es un producto natural resultante del proceso de la descomposición de materiales de origen vegetal, animal o mixto, que tienen la capacidad de mejorar la fertilidad y estructura del suelo enriquecido por la cantidad de nutrimentos, carbono orgánico, características físicas, químicas y biológicas, humedad, aireación y por consiguiente las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos obteniendo con

ello mayores rendimientos en la producción y su productividad” (Suquilanda, 1996; Téllez, 1999; Padilla, 2007; Trinidad-Santos, 2008) (Figura 6).

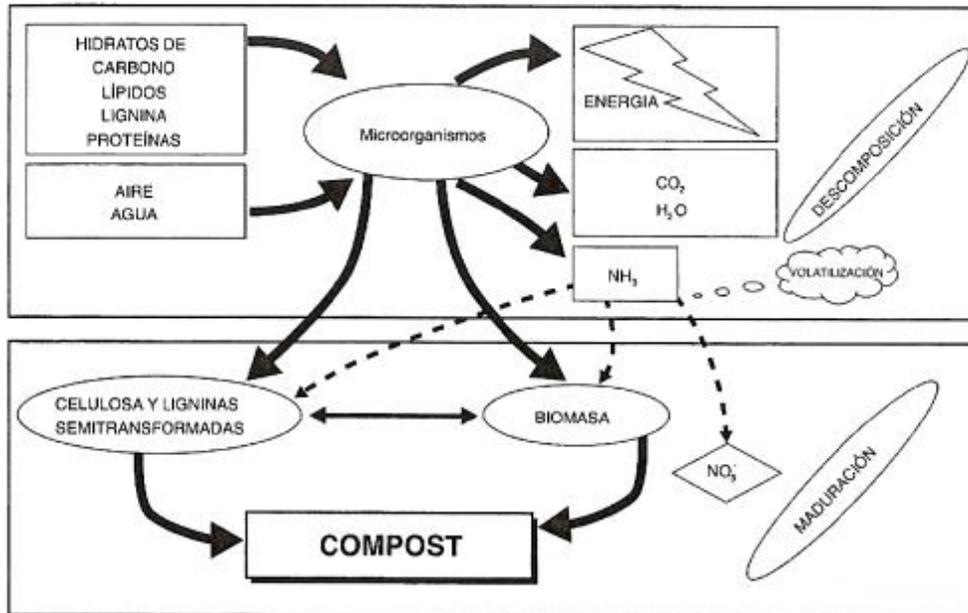


Figura 6. Esquema con los factores que influyen en el proceso de compostaje (Soliva *et al.*, 2018).

1.5.3. Propiedades de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos tienen tres propiedades que ejercen determinados efectos sobre el suelo, aumentando con ello su fertilidad (Cervantes, 2005; Cruz, 2008; Trinidad Santos, 2008).

1.5.3.1. Propiedades físicas: Por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo:

- Adquiere más temperatura y pueden absorber los nutrientes con mayor facilidad.
- Reduce la densidad aparente; mejora la estabilidad de la estructura; aumenta la porosidad, permeabilidad y capacidad de retención de agua, conductividad hidráulica, aireación y textura del suelo, haciendo más ligeros los suelos arcillosos y más compactos los arenosos.
- Disminuyen la erosión del suelo, tanto por el agua como por el viento.

1.5.3.2. Propiedades químicas:

- Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K y micronutrientes, oxigenación, la capacidad de intercambio catiónico, el pH y la concentración de sales.
- Mejora las propiedades químicas.

1.5.3.3. Propiedades biológicas:

- Al favorecer la oxigenación y la aireación del suelo, incrementan la actividad radicular y mayor actividad radicular y de los microorganismos aerobios, además son una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.
- Los compuestos de fácil descomposición, incrementan la actividad biológica por lo que los microorganismos contribuyen a las propiedades del suelo y en el crecimiento de las plantas.
- Convierte las formas no aprovechables en formas funcionales para las plantas al proveer nutrimentos esenciales al suelo debido a la actividad biológica relacionada con la oxidación y reducción
- Provee de alimento y contribuye a la mineralización, para los microorganismos que viven a expensas del humus.

1.5.4. ¿Qué es el compostaje?

Se considera que el compostaje es el proceso biológico de descomposición de materia orgánica aeróbica, realizada por la sucesión dinámica de microorganismos (bacterias y hongos) cuya actividad genera calor, lo que incrementa la temperatura por encima de los 50 °C (fase termofílica) durante varios días consecutivos, que actúan sobre materia rápidamente biodegradable, estabilizándola y permitiendo obtener con ello la composta, abono orgánico de excelente calidad (Iglesias y Pérez, 1989; Suquilanda,1996; Eghball, 2000; Soliva *et al.*, 2008).

1.5.6. Materiales a compostar

Para la elaboración de la composta se puede disponer de cualquier materia orgánica, generalmente hojas, excretas animales, plantas, malas hierbas, restos de cosecha, ramas de poda o siegas de césped, complementos minerales, entre otros. Éstos cumplen un papel de vital importancia en el mejoramiento de los suelos,

debido a que su presencia en los mismos aporta nutrientes esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, entre otros), además de activar la población biológica heterótrofa, mejoran la estructura del suelo, incrementan capacidad de retención del agua, entre otras (Chang *et al.*, 1991; Klonsky y Tourte, 1998; Eghball, 2002; Eghball *et al.*, 2004).

1.5.7. Factores de control técnico

De acuerdo con De la Cruz (2005) la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica necesita de condiciones óptimas de factores que son considerados importantes y que se indican a continuación (Tabla 5):

Tabla 5. Condiciones óptimas para el proceso de compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (Rynk, 1992).

Condición	Rango aceptable	Condición óptima
Relación C: N	20:1 - 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40% - 65%	50% - 60%
Oxígeno	+ 5%	Aproximadamente 8%

1.5.7.1. Temperatura

La acción conjunta de los factores que se indican abajo se reflejará en la temperatura, ya que el proceso de composteo se inicia con la acción de los microorganismos mesófilos que se desarrollan de manera óptima entre los 20 y los 35 °C, que son los responsables del calentamiento inicial de la composta y son sustituidos por los microorganismos termófilos que elevan la temperatura hasta 75 °C, en la fase termofílica la descomposición de los materiales es más rápida. El exceso o falta de alguno de los factores indicados se refleja en la temperatura, por lo que puede no calentarse la composta o generar demasiado calor que afecta el proceso.

1.5.7.2. Humedad

El contenido de humedad con niveles óptimos del 40-60% es determinante para la degradación del material. Si el exceso en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, produciendo la

putrefacción de la materia orgánica, generando gas metano, malos olores y retardándose el proceso. Si la humedad es excesivamente baja, se disminuye la actividad de los microorganismos por lo que no aumenta la temperatura y el proceso es más lento.

1.5.7.3. pH

Las mejores condiciones del proceso que influyen en la acción sobre los microorganismos deben ser las adecuadas, ya que para el caso de los hongos se debe oscilar en pH de 5 a 8, mientras que para las bacterias debe ser 6 a 7.5.

1.5.7.4. Oxígeno

El proceso de composteo puede ser de dos formas: aeróbico y anaeróbico. En el aeróbico, la presencia de oxígeno es esencial, mientras que en el segundo se realiza con su ausencia al interior de la pila. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada. El proceso más eficiente, rápido y que genera composta de mejor calidad es el aeróbico.

1.5.7.5. Relación C/N equilibrada

La relación carbono-nitrógeno es de suma importancia ya que estos elementos los utilizan los microorganismos para su desarrollo, el carbón lo emplean como energía y el nitrógeno para la síntesis de proteína. El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica, por lo que es necesario que exista un equilibrio entre ambos elementos para producir una composta de buena calidad. Teóricamente la relación C/N de 30:1 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman la composta. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica, mientras que la relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, pero se pierde el nitrógeno en forma de amoníaco (Tabla 6).

Tabla 6. Condiciones óptimas de diversas variables para el proceso de compostaje en relación al pH, temperatura y tamaño de las partículas (Rynk, 1992).

Condición	Rango aceptable	Condición óptima
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Temperatura (°C)	55 °C – 75 °C	65 °C – 70 °C
Tamaño de la partícula	0,5 – 1,0	Variable

1.5.7.6. Población microbiana

El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica generado por una amplia gama de poblaciones de hongos y bacterias.

1.5.7.7. Tamaño de las partículas a compostar

La velocidad de descomposición de los materiales aumenta conforme disminuye su tamaño, ya que al disminuir el tamaño de las partículas aumenta su área superficial, por lo tanto, habrá mayor área de contacto entre las partículas y los microorganismos. No es indispensable que los materiales sean fraccionados para compostar, esto solamente acelera el proceso.

1.5.7.8. Volumen de la composta

El volumen contribuye a la uniformidad y velocidad del composteo. Compostas demasiado pequeñas no pueden conservar el calor necesario y se resecan rápido, lo que no permite una rápida descomposición. Compostas demasiado grandes permiten la oxigenación al centro de la composta, por lo que la degradación no es uniforme.

1.5.7.9. Frecuencia de volteo

Formada la composta, es necesario voltear, la asiduidad de este proceso contribuye en la homogeneidad y celeridad de descomposición, puesto que el material de la superficie no se degrada a la misma velocidad que al interior. En compostas pequeñas se recomienda este proceso cada tres días, en grandes lo más recomendable es voltearla cada 8 a 15 días.

1.5.7.10. Proceso de compostaje

Se considera que el proceso de compostaje se divide en cuatro etapas, atendiendo a la evolución de la temperatura (Sztern y Pravia, 2009):

1.5.7.10.1. Mesófilico

Los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente al estar a temperatura ambiente, por lo que se eleva la actividad metabólica, baja el pH y produce ácidos orgánicos.

1.5.7.10.2. Termófilico

Los microorganismos termófilos actúan cuando se alcanzan temperaturas de 40 °C, por lo que el pH del medio se hace alcalino y el nitrógeno se transforma en amoníaco. Los hongos termófilos desaparecen al alcanzar los 60 °C y aparecen

actinomicetos y bacterias esporígenas; estos, son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas (Tabla 7).

Tabla 7. Características de las distintas fases del proceso de compostaje (Moreno y Moral, 2008).

Variables	Fase mesófila inicial	Fase termófila	Fase de enfriamiento y maduración
Temperatura	Incrementa de 10 a 45 °C	60 – 70 °C	Alcanza la temperatura inicial
pH	Amplias variaciones, disminución inicial del pH	Alcalinización del medio	Neutralidad del medio
Proceso	Degradación de los compuestos orgánicos más simples	Degradación de compuestos orgánicos más complejos	Degradación de compuestos orgánicos más complejos
Microbiología	Bacterias y hongos mesófilos	Actinomicetos y bacterias Gram -	Hongos y actinomicetos

1.5.7.10.3. De enfriamiento

Al descender la temperatura a menos de 60 °C, resurgen los hongos termófilos que invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Cuando baja de 40 °C, el pH del medio desciende ligeramente y los mesófilos también inician su actividad.

1.5.7.10.4. De maduración

Durante este proceso se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus, se requieren meses a temperatura ambiente para obtener la composta (Figura 7).

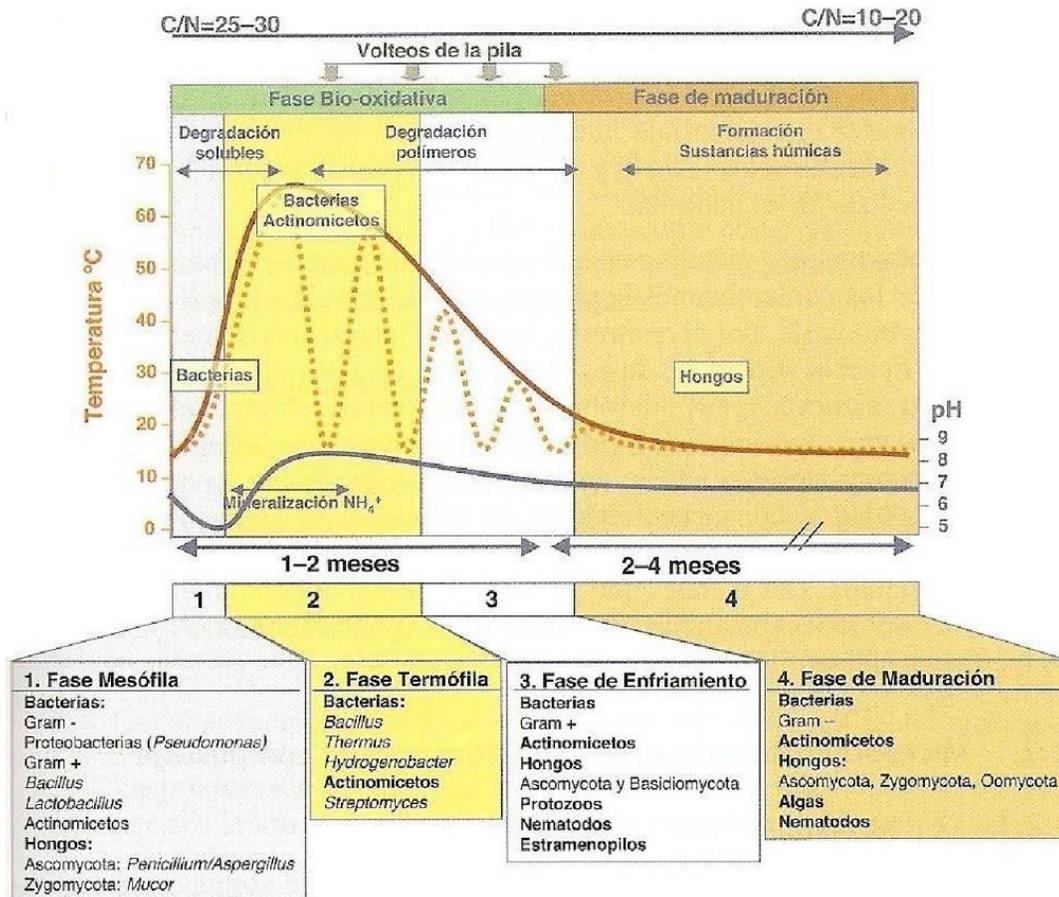


Figura 7. Fases del proceso de compostaje por acción de la temperatura (Moreno y Mormeneo, 2008).

1.5.7.11. Métodos de compostaje

Existen diversos métodos para el compostaje de la fracción orgánica (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Kiely, 1999):

- Hileras o pilas con volteo periódico
- Pilas estáticas aireadas
- Reactores cerrados

El método más utilizado, simple y económico es en **pila o hilera**, cuyo tamaño se adecua según los residuos y la aireación se aplica por volteo de pila, a través de una pala frontal o un trascabo. El tiempo de producción de ésta puede tardar de 4 a 6 meses, incluyendo el de maduración, y dependerá del tipo de material orgánico, tamaño de la pila y frecuencia de volteo.

Cada método difiere, principalmente, en el procedimiento para airear el sistema; cuando se diseñan y operan adecuadamente, producen composta de calidad similar.

1.5.7.11.1. Beneficios (Usos y aplicaciones)

El composteo de las excretas, es un método común para la elaboración sostenida de un producto inocuo a partir de las excretas pecuarias, con poder fertilizante, con poco olor, con un potencial bajo de producción de organismos infecciosos, y con la ventaja de que pueda ser almacenado y esparcido, debido a la reducción de su volumen y su peso (Eghball, 2000). Una de las principales tecnologías, es el uso de compostas que el propio productor puede elaborar en su unidad de producción o parcela, utilizando los materiales de que dispone localmente. Ello le permitirá tener un mejor manejo y conservación de su suelo, recurso principal de cualquier sistema de producción agropecuaria y forestal.

1.5.7.12. Lombricompostas líquidas

Según Prado García (2013), la lombricomposta (humus de lombriz) “es un material similar a la tierra, producido a partir de residuos orgánicos, altos en nutrientes y utilizado comúnmente como mejorador de suelos o sustituto de fertilizante”. Actualmente, de este tipo de composta se han generado otros productos como el biofertilizante líquido “Té de humus” (Casco e Iglesias, 2005), o los controversiales “lixiviados de humus” para su uso en ganadería, agricultura, o avicultura (De Sanzo, 2000). Cabe destacar que estos términos o definiciones no se han homologado en los diferentes países donde se práctica la lombricultura, por falta de normatividad en su caracterización bacteriológica y fisicoquímica, por lo que tampoco se han podido definir como nutrimentos complementarios en la alimentación animal.

1.5.7.13. Humus líquido

Lara (2011), dice que el humus líquido de lombriz se produce al alimentarse con los desechos orgánicos que se adicionan en la vermicompostera, sugiere que el humus de lombriz líquido contiene los elementos solubles más importantes presentes en el humus de lombriz (sólido), entre los que se incluyen los humatos más importante como son: los ácidos húmicos, fúlvicos, úlmicos, entre otros. Además del alto contenido en Ácidos Húmicos y Fúlvicos, incrementa la reabsorción de los minerales existentes en el suelo.

También indica que el lixiviado de lombriz líquido es un fertilizante abono orgánico natural que contiene todos los elementos o nutrientes mayores (Fosforo, Nitrógeno y Potasio), así como, de los elementos o nutrientes menores (Calcio, Sodio, Zinc, Manganeso, Fierro, Molibdeno, Cobre, Magnesio, Boro y Azufre), es un abono ideal aplicable a todos los cultivos a través del riego o en forma foliar.

1.5.7.13.1. Ventajas

Bernal (2016), indica que una de las ventajas es la generación de un ambiente ideal para que los organismos benéficos, como los hongos, protozoarios o bacterias que restringen el desarrollo de enfermedades o patógenos, disminuyendo la afectación en las ramas, raíces hojas, forrajes, del mismo modo que enriquece la microflora al incorporar y descomponer los Residuos Orgánicos (vegetales principalmente) presentes en el suelo; además, al aplicarse al suelo actúa como abono orgánico, y al aplicarse al follaje de una planta hace aprovechable los macro y micro nutrientes, además de evitar la concentración y acumulación de sale

Por lo tanto, el lixiviado humus líquido de lombriz puede aportar los siguientes beneficios:

- Aumenta la biomasa de microflora y microfauna (micro organismos) presentes en los suelos agrícolas y de la ciudad.
- Estimula el desarrollo, crecimiento, madurez y salud radicular.
- Mantiene y retiene la humedad en del suelo por más tiempo.
- Reduce la conductividad de los suelos salinos a través del agrupamiento de arcillas.
- Balancea y corrige el pH en suelos ácidos (lo nivela a 7.5 o 7.8).

- Equilibra el desarrollo de hongos benéficos presentes en el suelo.
- Aumenta la producción en los cultivos agrícolas, huertos familiares y huertos productivos.
- Disminuye la actividad de ácidos y otros parásitos peligrosos para el mundo vegetal.
- Excelente interacción de la actividad de muchos pesticidas y fertilizantes del mercado.
- Su aplicación limita la contaminación de químicos en los suelos por uso inapropiado de los mismos.
- Es rápidamente asimilado por la raíz y por las estomas del tejido vegetal.

1.5.7.13.2. Utilidades

Los lixiviados de lombriz no son considerados como pesticidas por sí mismos, contienen una rica y abundante diversidad de microorganismos benéficos, por lo que compiten con otros e impiden que estos ocupen espacio y se alimenten. Algunos otros contienen químicos antimicrobianos naturales que producen la inhibición de hongos.

Actualmente los lixiviados de lombriz son utilizados para el control de plagas y enfermedades, así mismo existe evidencia de su actividad potencial en la protección de cultivos agrícolas para un amplio rango de enfermedades de importancia comercial, como: el tizón de la papa o tomate, y otras plagas en cítricos. Debido a la composición microbiana del lixiviado de lombriz, se encuentran protozoarios, hongos, bacterias, que son parte del compost, inhiben las enfermedades a través de mecanismos tales como: aumento en la resistencia de la planta a la infección, antagonismo y competencia con el patógeno a las raíces, entre otros (Bernal, 2016). Una vez que se aplica el lixiviado en la superficie de la hoja, los microorganismos benéficos, ocuparan los nichos esenciales y consumirán los exudados que los microorganismos patógenos deberían consumir, evitando su desarrollo, crecimiento y reproducción. Se conocen varios efectos de los lixiviados para suprimir las enfermedades como (Bernal, 2016):

- Inhibición de la germinación de las esporas (de patógenos) en plantas enfermas.
- Detener la expansión de la lesión en la superficie de la planta.
- Competencia con los microorganismos por alimento, nutrientes y sitios importantes de la planta y la raíz.
- Depredación de los microorganismos que causan la enfermedad.
- Eliminación de los organismos con producción de antibióticos naturales
- provenientes de los procesos de las lombrices, protozoarios y hongos.
- Incremento de la salud de la planta y, con esto, su habilidad de defensa a las enfermedades en general.

1.5.7.14. Lixiviados de humus de lombriz

Los abonos orgánicos líquidos llamados lixiviados de primera, segunda y tercera vuelta, son el producto resultante del regadío a canteros utilizados en la producción de lombrices (Reines *et al.*, 2006).

Se propone que los lixiviados son similares en sus características Bacteriológicas y Físicoquímicas, al ser consecuencia de la lombricultura.

El humus líquido (parte soluble en medio alcalino del humus de lombriz) contiene los elementos solubles más importantes presentes en el humus sólido, entre ellos las huminas, los ácidos húmicos y fúlvicos. Aplicando al suelo o a la planta ayuda a asimilar macro y micro nutrientes, evitando así la concentración de sales.

Además, puede ser utilizado como abono al contener, microorganismos benéficos y nutrimentos solubles. Por su uso, puede aplicarse a través de sistemas de riego presurizado y adaptarse a sistemas de producción orgánica de cultivos bajo condiciones de invernadero (Rodríguez *et al.*, 2009).

Se han considerado y utilizado tradicionalmente como fertilizantes líquidos orgánicos para prevenir plagas y enfermedades, tanto en aspersion foliar como aplicado al sustrato (Serrato, 2001)

1.5.7.14.1. Propiedades del lixiviado de humus de lombriz

Cadena (2014), enumera las diferentes propiedades que presenta el humus de lombriz:

- Incrementa la biomasa de microorganismos presentes en el suelo.

- Estimula un mayor desarrollo radicular.
- Detiene la humedad en el suelo por mayor tiempo.
- Incrementa la producción de clorofila en las plantas.
- Reduce la conductividad eléctrica característica de los suelos salinos.
- Mejora el pH en suelos ácidos.
- Equilibra el desarrollo de hongos presentes en el suelo.
- Aumenta la producción de cultivos.
- Disminuye la actividad de chupadores como los áfidos.
- Actúa como potenciador de la actividad de muchos pesticidas y fertilizantes del mercado.
- Es asimilado por la raíz y por las estomas.

1.5.7.15. Té de composta

Vázquez *et al.* (2015) lo define como “un extracto acuoso de alta calidad biológica resultante de la fermentación aeróbica de composta en agua, utilizable como fertilizante, por sus nutrientes solubles, microorganismos benéficos y compuestos favorables para las especies vegetales.

Su preparación se basa en una fuente de comida microbiana como la melaza, ácidos húmicos y fúlvicos, que poseen características especiales como la transferencia de la biomasa microbiana, y compuestos químicos como nutrientes solubles que se pueden aplicar al suelo o como fertilizante foliar. (Rodríguez *et al.*, 2009).

La aplicación del té de composta de manera foliar es efectiva para controlar algunos patógenos en la producción de diversos cultivos como la albahaca (Francescangeli, 2013).

González *et al.*, (2013) mencionan que los nutrientes solubles en el té son absorbidos por la planta, al mismo tiempo favorece el desarrollo de los microorganismos benéficos que permiten suprimir enfermedades en los cultivos, por lo que las plantas son más sanas y se reduce la aplicación de fertilizantes minerales, estos tés permiten la desintoxicación del suelo, facilitando el crecimiento de las plantas.

1.5.7.16. Extracto líquido de lombricomposta

Arancon *et al.* (2007) explican que el extracto líquido de lombricomposta es “el producto de un proceso de suspensión de lombricomposta de diversos sustratos en agua”; otros autores Raoudha *et al.*, y El-Masry *et al.*, explican, además, que es una solución rica en nutrientes y microorganismos con potencial para brindar minerales requeridos por cultivos vegetales y disminuir los daños causados por hongos patógenos. Sin embargo; a pesar de los resultados positivos del extracto como fertilizante líquido y solución antifúngica se requiere evidencia científica concluyente sobre los parámetros que intervienen en su efectividad, como el sustrato de lombricompostaje, proporción ideal de lombricomposta con agua, aireación, tiempo de suspensión y filtración (Scheuerell y Mahaffee, 2006; Chukwujindu *et al.*, 2006; Dordas, 2008; Kavroulakis *et al.*, 2010; Gurama *et al.*, 2012). En este marco se ha propuesto que, para alcanzar los objetivos específicos deben usarse métodos específicos de producción. Es decir, investigar de forma detallada factores clave, como (Zaller, 2006; Dianéz *et al.*, 2007; Arancon *et al.*, 2007; Naidu *et al.*, 2013); c) tiempo de incubación de la mezcla composta: agua (24 a 72 h; Arancon *et al.*, 2007). a) el tipo de materia prima para la producción de composta como son: estiércol, residuos de jardín, desechos frutales

b) relación composta: agua generalmente se usa 1:3 o 1:5 vol/vol

c) tiempo de incubación de la mezcla composta: agua (24 a 72 h)

d) aireación o uso de bombas de aire para agitar la mezcla durante su incubación

e) la adición de nutrientes suplementarios como melazas, hidrolizado de pez, extractos de levadura o algas

Derivado de las experiencias de los diversos métodos de producción probados a la fecha, se ha reportado que el extracto de composta es (Cronin *et al.*, 1996; Scheuerell y Mahaffee, 2006; Arancon *et al.*, 2007; Lazcano y Domínguez, 2011; El-Masry *et al.*, 2002; Ping y Boland, 2004; Gómez-Brandón *et al.*, 2015):

1) fertilizante foliar, al contener componentes activos como ácidos fúlvicos solubles en agua, humatos y materiales que promueven la disponibilidad de los nutrientes

2) supresor de enfermedades en hojas de plantas hongos causadas por los patógenos pertenecientes a los géneros *Botrytis*, *Pythium*, *Rhizoctonia*,

Plectosporium y *Verticillium* debido a la riqueza microbiana y a la abundancia de enzimas quitinasas y β 1,3 glucanasas (El-Masry *et al.*, 2002) y, 3) y provee de promotores de defensa metabólica contra hongos, tales como: ácido abscísico, ácido jasmónico y ácido salicílico

1.5.7.16.1. Actividad antifúngica del extracto líquido de lombricomposta

Raoudha *et al.*, (2009) y Polavarapu, 2000, explican que la actividad antifúngica de una sustancia es la disminución del desarrollo o crecimiento de hongos al ser aplicada. Para combatir las enfermedades foliares ocasionadas por hongos, tradicionalmente se usan productos sintéticos. Sin embargo, estos tratamientos no siempre son totalmente efectivos, además, las consecuencias del intenso uso de sustancias químicas biosidas incrementan la contaminación ambiental, peligros de salud y, en ocasiones, tienen efectos fitotóxicos. Derivado de esta problemática, Cronin, (1996) El-Masry *et al.*, (2002) y Dianéz *et al.*, (2007), exponen que los extractos de composta o lombricomposta pueden ser considerados como una alternativa para el control de enfermedades foliares en oposición a los métodos tradicionales en donde la mayoría de las pruebas se centran en el control de hongos patógenos en la parte aérea de las plantas explicando que en su mayoría “estas pruebas se centran en el control de hongos patógenos en la parte aérea de las plantas” también han evidenciado ser efectivos en la rizósfera; sin embargo, a pesar de las evidencias empíricas y científicas disponibles, se requiere profundizar el conocimiento de los mecanismos biológicos a través de los cuales actúan los extractos con la finalidad de potencializar su eficiencia en la supresión de enfermedades tanto en la rizósfera de las plantas como en las partes aéreas.

De forma general, El-Masry *et al.*, 2002, Naidu *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2012 y Fritz *et al.*, 2012 explican que la actividad antifúngica de los extractos se atribuye a los microorganismos existentes, lo que puede ser un factor fundamental en su eficiencia en la supresión de enfermedades. Estas importantes poblaciones microbiológicas tienden a aumentar el número de organismos durante los procesos de extracción y son diferentes en función de los sustratos utilizados.

1.5.7.16.2. Microorganismos en el extracto líquido de lombricomposta

El-Masry *et al.*, 2002; Scheuerell y Mahaffee, 2002; Dianéz *et al.*, 2006; Zmora-Nahum *et al.*, 2008 y Hadar y Papadopoulou, 2012 consideran que una clave del éxito del extracto líquido de lombricomposta en la supresión de patógenos foliares es el factor microbiológico por lo que esto puede deberse a la exitosa depredación o parasitismo de los patógenos por parte de bacterias y hongos litícos que se encuentran en él dando lugar a un control biológico de enfermedades. En este contexto, Danon *et al.*, (2010); Jayakumar y Natarajan, (2013) exponen que se han aislado microorganismos relacionados a efectos antifúngicos, pertenecientes a los géneros *Chaetonium*, *Geomyces*, *Penicillium* y *Trichoderma*, por lo que se considera la posibilidad de ser los responsables de la eficacia en el control biológico de enfermedades a través del uso de extracto líquido de lombricomposta.

1.5.7.16.3. Las quitinasas y su efecto en el control de hongos fitopatógenos

Musumeci y Paoletti, 2009 explican que “otra de las fracciones de los extractos líquidos a los que se les ha atribuido un potencial efecto supresor de hongos patógenos son las enzimas quitinasas”. Estas son enzimas como la quitobiosa que degradan quitina, hidrolizan aleatoriamente enlaces glicosídicos de N-acetilglucosamina (GlcNAc) para producir oligosacáridos. La quitina es, después de la celulosa, el biopolímero más abundante en la naturaleza y es producida por nematodos, moluscos, artrópodos, crustáceos, insectos, hongos, algas y levaduras como protección física y componente estructural; además mencionan que la gran abundancia de la quitina y su impacto potencial en el ambiente ha llevado al desarrollo enzimas quitinasas que la hidrolizan para que los organismos (sea, depredador, parásito o saprobio) puedan utilizarla para protegerse de patógenos que estén constituidos por quitina o como fuente de energía al degradarla hasta sus monómeros N-acetilglucosamina.

1.5.7.16.4. Nutrientes minerales del extracto líquido de lombricomposta

De acuerdo con Díaz *et al.*, (2007) “el método más simple de estimar la calidad agronómica del extracto líquido de lombricomposta (como un tipo de abono o fertilizante) y así tener noción de su valor económico es a través del cálculo de la materia orgánica y nutrientes minerales disponibles para las plantas, particularmente el contenido de los macronutrientes nitrógeno y fósforo”. La

composta contiene aproximadamente un 85% de Nitrógeno orgánico y de 10 a 15% de Nitrógeno inorgánico, éste último, disponible de forma inmediata para las plantas. En particular Zaller (2006) y Arancon *et al.*, (2007), después de obtener resultados positivos al usar el extracto en el cultivo orgánico de tomate y pepino, han destacado la relevancia de la riqueza de nutrientes en el extracto de lombricomposta para su uso como fertilizante por lo que su caracterización es una etapa importante para evaluar su calidad.

1.5.7.16.5. Promotores de defensa metabólica

Hadar y Papadopoulou, (2012) explican que la defensa metabólica es promovida por “factores de crecimiento vegetal que activan mecanismos fisiológicos que disminuyen el desarrollo de los patógenos en ellas, fenómeno conocido como Resistencia Sistémica Inducida o RSI”. Estos compuestos se diferencian de las hormonas de crecimiento, las cuales son compuestos orgánicos que se sintetizan en alguna parte de la planta y se transfieren a otra parte del mismo organismo en donde, en concentraciones muy bajas, causan una respuesta fisiológica: promotora o inhibitoria (Salisbury, 2000 y Audesirk, 2017). Por el contrario, los factores de crecimiento, aunque pueden ser compuestos químicos idénticos a las hormonas, no son producidos por las plantas, son producidos por organismos externos (Salisbury, 2000).

1.5.7.16.6. Los compuestos fenólicos y el control de enfermedades fúngicas

Los compuestos fenólicos son otro grupo de sustancias de interés en el estudio del extracto líquido de lombricomposta. Ya que dichos compuestos fenólicos, como el ácido 4-hidroxibenzoico, la vanilina (*vainillina*) y el ácido transcinámico, tienen efectos antifúngicos (Kosová *et al.*, 2015; Bezerra *et al.*, 2017 y Hazir *et al.*, 2017) y son producidos por microorganismos del suelo donde los compuestos fenólicos y el extracto líquido que se encuentran en la lombricomposta y puedan ser aprovechados como agentes antifúngicos.

1.5.7.17. Eucalipto

Fonnegra y Jiménez (2007), dicen que el eucalipto es un árbol con hojas aromáticas recubiertas de una capa cerosa blanca, hasta de 50 m de altura, corteza azul grisácea que segrega una sustancia resinosa de color azulado. Produce frutos aromáticos, con secciones que contienen numerosas semillas diminutas y flores

aromáticas, con forma cónica, de color amarillo claro o blanquizco, axilares sin pétalos y cáliz leñoso con excrecencia cerosa.

El árbol del eucalipto es originario de Tasmania y Australia, existen más de 700 especies distribuidas en el mundo. Fue llevado a Europa a finales del siglo XIX debido a su gran capacidad de absorber agua con la finalidad de higienizar las regiones pantanosas, pues al reducir los niveles de humedad, disminuye la presencia de insectos como los mosquitos; también por ello está presente en las zonas húmedas de América y Asia, con la finalidad de aminorar el riesgo de transmisión de enfermedades como la malaria transmitida por la picadura del mosquito *Anopheles*. Como planta medicinal, el uso de las hojas del eucalipto (particularmente la especie *globulus*) data del siglo XVIII, indicado principalmente para tratar afecciones en las vías respiratorias, como el asma o la gripe; por sus propiedades antiinflamatorias, expectorantes y antimicrobianas; ésta última capacidad, consigue suprimir los microorganismos (principalmente bacterias y microbios) causantes de diversos procesos infecciosos en las vías respiratorias. (Barcia, 2020).

Asimismo, existen especies como la *Eucalyptus* (familia Myrtaceae), que además del valor de su madera, se usa en el desarrollo de perfumes y medicamentos; los compuestos biosintetizados de esta especie en particular proveen un efecto alelopático en el ecosistema vegetal que inhibe el crecimiento de especies émulas (sitosterol y β) generadas por la producción de diversos aleloquímicos: (Referencia: Alonso, I. 2020. Eucalipto, una ayuda para respirar mejor. Webconsultas. Consultado el 13 de febrero en <https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/plantas-medicinales/eucalipto-te-ayuda-respirar-mejor-6189>).

- P-entano-3,8-dioles
- Eucaliptina
- Triterpenoides (Jabeen y Javaid, 2008).

Los extractos acuosos, hexánicos y metanólicos de *Eucalyptus citrodiora* inhiben el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos que afectan cultivos de arroz, como *Bipolarisoryzae* y *Didymellabyroneae* (Harish *et al.*, 2008).

Además, numerosos trabajos científicos presentan evidencias en relación al efecto antifúngico de extractos vegetales y aceites esenciales de especies del género *Eucalyptus* (Batish *et al.*, 2008).

1.5.7.17.1. Descripción taxonómica y morfológica

Según Killeen *et al.*, (1993), la clasificación taxonómica es la siguiente:

Reyno: *Plantae*

División: Angiosperma

Clase: Dicotiledónea

Familia: *Myrtaceae*

Género: *Eucalyptus*

Especie: *E. globulus labill.*

Nombre común: Eucalipto, pomelo azul

Nombre científico: *Eucalyptus globulus labill.*

1.6. Planteamiento del problema

La generación de Residuos Sólidos Orgánicos está directamente relacionada con el desarrollo del ser humano y su crecimiento demográfico; sin embargo, su crecimiento no es concordante al tratamiento que los residuos demandan, ni por las comunidades ni por parte de las autoridades (Elías, 2009). Según las estadísticas, principalmente los países latinoamericanos han relegado el servicio público de aseo a una función de embellecimiento, lo que repercute en el deterioro ambiental (Esquer, 2009).

Por lo que una de las soluciones para el manejo de los Residuos Sólidos Orgánicos es el lombricompostaje, que coadyuvara a disminuir la disposición final en los rellenos sanitarios. El producto final de este proceso de lombricompostaje (lombricomposta) ofrece dos principales funciones, la primera es como mejorador de suelos, y la segunda en la elaboración de extractos líquidos, tes y lixiviados de composta.

Ante la creciente problemática que presenta la agricultura por el uso de productos químicos, se requieren métodos innovadores que coadyuven al combate de diversas plagas y enfermedades, para poder evitar los impactos negativos de los productos químicos utilizados en la actualidad. Los extractos obtenidos de las lombricompostas, pueden contener uno o varios componentes supresores de enfermedades fúngicas foliares como: microorganismos antagónicos (actinomicetes, bacterias y levaduras y bacterias promotoras de crecimiento) que promuevan la defensa metabólica de las plantas.

En concordancia con Dianéz *et al.*, (2006) resulta considerable profundizar en investigaciones sobre los extractos para establecer la estandarización del método de producción, conocer su composición química (nutrientes minerales), sus elementos de origen biológico (enzimas quitinasa y fitohormonas) y evaluar su efectividad.

Por todo lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿El extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto inhibe el desarrollo de enfermedades causadas por hongos en el cultivo de jitomate?

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en 3 etapas (campo, laboratorio e invernadero). La primera de ellas se desarrolló en la ciudad de Puebla (Longitud: O 98° 12' 6.95", Latitud: N 19° 2' 36.02", 2135 msnm), dentro de la preparatoria Benito Juárez García de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (Figura 8), la cual se encuentra en Boulevard 14 sur y circuito Juan Pablo II. Es aquí en donde se desarrolla el proceso de compostaje y lombricompostaje, a partir de los Residuos Sólidos Orgánicos domiciliarios de familias y estudiantes que colaboran con el proyecto VermiBUAP separando y trayendo de manera voluntaria dichos residuos.



Figura 8. Ubicación del sitio de transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios y área de preparación de los extractos líquidos de lombricomposta (Google Maps, 2019).

La segunda etapa se desarrolló en el edificio Multilaboratorios EMA 6 de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (Figura 9); ubicado en Capitán Carlos Camacho Espíritu s/n, Ciudad Universitaria.



Figura 9. Edificio multilaboratorios EMA6 de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (<https://24horaspuebla.com/2016/tendra-la-buap-bachillerato-en-san-jose-chiapa/>).

En la etapa tres se evaluó el efecto del extracto líquido de lombricomposta sobre el crecimiento de las plantas de jitomate y la mitigación de enfermedades en el cultivo de jitomate, se realizó un experimento dentro de un invernadero que se encuentra ubicado en Francisco Javier Mina (Chipilo) localizado a 12 kilómetros de la ciudad de Puebla (19° 00' 22" N, 98° 19' 50" O) (Figura 10).

En Chipilo de Francisco Javier Mina, la temporada de lluvia es caliente y nublada y la temporada seca es parcialmente nublada. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 30 °C.



Figura 10. Invernadero de jitomate ubicado en Chipilo, Puebla (Fuente propia, 2019).

La forma del invernadero era de capilla simple, tenía techo formado por dos planos inclinados, es decir a dos aguas, de 22 m², hecho de malla antiáfidos y plástico blanco para invernadero.

2.2. Elaboración del extracto líquido de lombricomposta

La mayoría de los materiales colectados para el proceso de lombricompostaje consistieron en hojas de eucalipto con Residuos Sólidos Domiciliarios provenientes de familias que viven dentro de la ciudad de Puebla. El proceso se llevó a cabo en camas fabricadas con blocks elaborados a base de hormigón, con las siguientes medidas: 2.38 metros de longitud interna por 1.50 metros de ancho interior, en éstas se vertieron los Residuos Sólidos Domiciliarios junto con los restos de las podas, posteriormente se cubren con plástico negro de calibre 600, el cual ayuda a elevar la temperatura en el proceso de compostaje y a evitar la presencia de fauna nociva. Una vez que la materia orgánica ha pasado por el proceso termofílico las camas se inoculan con lombrices de la especie roja californiana (*Eisenia andrei*) (Figura 11).



Figura 11. Construcción de camas de lombricompostaje y vertido de Residuos Sólidos Orgánicos dentro de éstas (Fuente propia, 2019).

Transcurridos los tres meses del proceso de lombricompostaje, el producto final fue cernido con una malla de 2 milímetros, esto se realiza con la finalidad de obtener un material uniforme y a su vez realizar una separación de materiales ajenos como Residuos Inorgánicos y Residuos Orgánicos que no alcanzaron su etapa de descomposición. Con la finalidad de eliminar el exceso de agua contenido en esta, se extiende sobre unos plásticos y se voltea constantemente para que la humedad en la lombricomposta sea homogénea (Figura 12).



Figura 12. Proceso de secado de la lombricomposta, para su posterior cernido (Fuente propia, 2019).

Una vez que se realizó el cernido de la lombricomposta, el material se guardó en bolsas plásticas y costales para conservar su humedad al 30% (NMX-AA-180-SCFI-2018). Una vez transcurrida esta etapa se procedió a la preparación del extracto líquido de lombricomposta, el cual consiste en colocar en recipientes plásticos con capacidad de 200 litros, el agua de pozo (que se utiliza para evitar la presencia de cloro) y la lombricomposta madura en una proporción de 3:1, esto quiere decir que se agregaron 30 kilos de lombricomposta fina por 90 litros de agua; durante siete días dicha mezcla se agitó con la ayuda de una pala de madera, para permitir el proceso de aireación, dos veces al día, 10 minutos por la mañana y 10 minutos por la tarde (Figura 13).



Figura 13. Proceso de preparación del extracto líquido de lombricomposta (Fuente propia, 2019).

Transcurridos los siete días se procedió a la extracción y filtrado del material sólido con una malla de 1 milímetro, los lodos captados durante la filtración se reintegraron a las camas en donde se lleva a cabo el proceso inicial de lombricompostaje, el extracto se almacenó en botes plásticos fuera de la luz del sol para evitar con esto la formación de algas (Figura 14).



Figura 14. Almacenamiento de extracto líquido de lombricomposta en recipientes plásticos (Fuente propia, 2019).

2.3. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.

El análisis químico del extracto líquido de lombricomposta se llevó a cabo según la metodología de calidad propuesta por Jones y Wolf en 1984. El pH se determinó mediante el método de la NMX-AA-008, el cual se midió a través de un potenciómetro con electrodo de membrana de vidrio y un electrodo de referencia comercial Suntex SP-2300, calibrado con dos disoluciones patrón con pH de 7; la conductividad eléctrica (dS m^{-1}) se midió con un conductímetro marca Suntex SC-2300 medidor de CE. El Calcio ($\text{Ca}^{2+} + \text{mg l}^{-1}$) y el Magnesio ($\text{Mg}^{2+} + \text{mg l}^{-1}$) se determinaron mediante el método de extracción con EDTA (sal disódica de ácido etilendiaminotetraacético dihidratado) y cuantificados por absorción atómica, el Sodio ($\text{Na}^{+} + \text{mg l}^{-1}$), y el Potasio ($\text{K}^{+} + \text{mg l}^{-1}$) se determinaron por medio de un Flamómetro Luzeren FP6440. Los Carbonatos (CO_3^{2-} , mg l^{-1}) y los Bicarbonatos (HCO_3^{-1} , mg l^{-1}) se determinaron mediante Volumetría. Los Nitratos (NO_3^{-1} , mg l^{-1}) se midieron mediante un espectrofotómetro Hach DR 3900 y un fotómetro Diasys

Startdust MC15, según la norma NMX-AA-079., los Sulfatos (SO_4^{2-}), mg l^{-1}) fueron medidos de acuerdo a la norma NMX-AA-074 con un nefelómetro de marca Hanna, modelo HI 93703, espectrofotómetro y un fotómetro, los Fosfatos bajo la norma NMX-AA-029 con un espectrofotómetro y un fotómetro, finalmente los Cloruros bajo los estándares de la norma NMX-AA-073 con la ayuda de un espectrofotómetro.

2.4. Ensayo de antagonismo

Estas se realizaron por duplicado, en cajas Petri desechables de 100 x 15 milímetros con medio PDA (papa dextrosa agar) y PADA (papaya dextrosa agar), se les agregaron 100 μl de una suspensión de *Fusarium spp*, y a otras 100 μl de una suspensión de *Rhizopus spp*, se diseminó mediante una espátula de Drigalsky; una vez secas estas soluciones, las cajas se dividieron en tres secciones, a las cuales se les agregaron 30 μl de las siguientes soluciones: agua estéril, *Bacillus subtilis*, y el extracto líquido filtrado y sin filtrar, se colocaron en una incubadora a 30° por 72 horas, transcurrido este tiempo se pudieron observar los halos de inhibición según el tratamiento aplicado.

2.5. Conteo de microorganismos contenidos en el extracto líquido de lombricomposta.

Para el conteo de colonias de hongos y bacterias en el extracto líquido se realizaron diluciones seriadas, las cuales consisten en colocar 900 μl de agua estéril en seis tubos Eppendorf y agregar al primero 100 μl del extracto líquido de lombricomposta, se mezcla y se toman de este primer tubo 100 microlitros que se incorporarán al segundo tubo y así sucesivamente hasta el sexto tubo, esta metodología se realiza con la finalidad de hacer más fácil el conteo de las UFC (unidades formadoras de colonias) en las cajas Petri. Se trabajó con la disolución 10^{-6} , se agregaron 100 μl de esta solución en cajas Petri desechables con medio PDA (papa dextrosa agar; pH 5.5) y LB (Luria Bertani, pH 7.0); la solución se diseminó con una espátula de Drigalsky, se realizaron conteos de colonias tanto de hongos como de bacterias, transcurridas 24, 48 y 72 horas. Los hongos que crecieron en las cajas de Petri se identificaron mediante microscopio óptico con objetivo 100x utilizando guías taxonómicas (Figura 15).

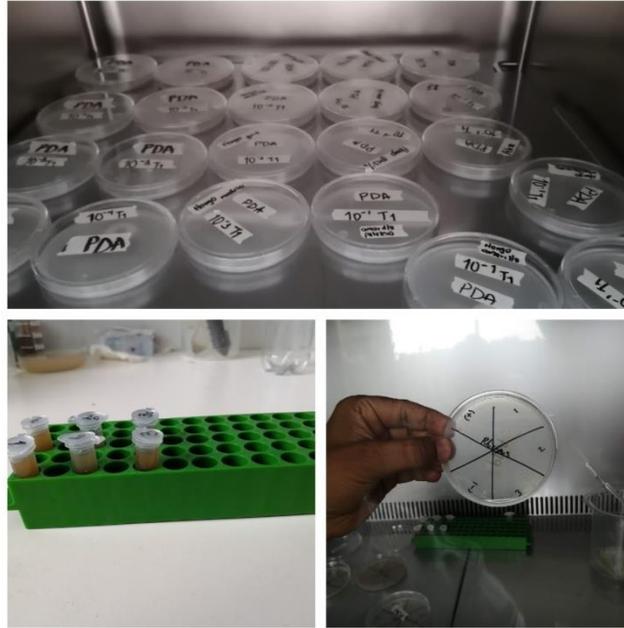


Figura 15. Metodología de dilución seriada para identificación de hongos y bacterias en medio PDA y LB (Fuente propia 2019).

2.6. Pruebas en campo.

2.6.1. Cultivar de jitomate empleado

El tipo de jitomate saladette que se sembró fue híbrido indeterminado Ramsés es una planta indeterminada vigorosa que se adapta tanto a campo abierto como a invernadero; presenta frutos de forma oval cuadrado, extra grandes (XL), firmes, y de planta vigorosa. Resistente a suelos con problemas de *Fusarium*, *Fusarium* de la corona y nemátodos (consultado en elfield.com.mx).

2.6.2. Aplicación del extracto líquido de lombricomposta

El extracto líquido de lombricomposta se aplicó una vez por semana; aplicando en total 3 veces, se disolvió en agua de pozo, en una proporción 1/9 (1 extracto/ 9 agua); las aplicaciones se realizaron antes que el sol saliera, esto con la finalidad de que el extracto no se evaporara.

2.7. Valoración agronómica del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto en cultivo de jitomate

2.7.1. Descripción de tratamientos

Para este experimento se emplearon dos tratamientos. El tratamiento 1 consistió en aplicar semanalmente de forma foliar el extracto líquido de lombricomposta elaborado a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto. El tratamiento 2 consistió en no realizar ninguna aplicación de este extracto, ambos tratamientos se aplicaron en el cultivo de jitomate.

2.7.2. Diseño de tratamientos

Conformado por 2 bloques por tratamiento, cada uno con 20 repeticiones, teniendo un total de 40 plantas por tratamiento, para hacer un total de 80 plantas por los dos bloques (Figura 16).

Diseño experimental del cultivo de jitomate en invernadero: bloques

Extracto líquido de lombricomposta	Sin extracto líquido de lombricomposta	Extracto líquido de lombricomposta																																																																																									
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Bloque 4</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr><tr><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>10</td><td>9</td></tr><tr><td>12</td><td>11</td></tr><tr><td>14</td><td>13</td></tr><tr><td>16</td><td>15</td></tr><tr><td>18</td><td>17</td></tr><tr><td>20</td><td>19</td></tr></tbody></table>	Bloque 4		2	1	4	3	6	5	8	7	10	9	12	11	14	13	16	15	18	17	20	19	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Bloque 3</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr><tr><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>10</td><td>9</td></tr><tr><td>12</td><td>11</td></tr><tr><td>14</td><td>13</td></tr><tr><td>16</td><td>15</td></tr><tr><td>18</td><td>17</td></tr><tr><td>20</td><td>19</td></tr></tbody></table>	Bloque 3		2	1	4	3	6	5	8	7	10	9	12	11	14	13	16	15	18	17	20	19	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Bloque 2</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr><tr><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>10</td><td>9</td></tr><tr><td>12</td><td>11</td></tr><tr><td>14</td><td>13</td></tr><tr><td>16</td><td>15</td></tr><tr><td>18</td><td>17</td></tr><tr><td>20</td><td>19</td></tr></tbody></table>	Bloque 2		2	1	4	3	6	5	8	7	10	9	12	11	14	13	16	15	18	17	20	19	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Bloque 1</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>6</td><td>5</td></tr><tr><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>10</td><td>9</td></tr><tr><td>12</td><td>11</td></tr><tr><td>14</td><td>13</td></tr><tr><td>16</td><td>15</td></tr><tr><td>18</td><td>17</td></tr><tr><td>20</td><td>19</td></tr></tbody></table>	Bloque 1		2	1	4	3	6	5	8	7	10	9	12	11	14	13	16	15	18	17	20	19
Bloque 4																																																																																											
2	1																																																																																										
4	3																																																																																										
6	5																																																																																										
8	7																																																																																										
10	9																																																																																										
12	11																																																																																										
14	13																																																																																										
16	15																																																																																										
18	17																																																																																										
20	19																																																																																										
Bloque 3																																																																																											
2	1																																																																																										
4	3																																																																																										
6	5																																																																																										
8	7																																																																																										
10	9																																																																																										
12	11																																																																																										
14	13																																																																																										
16	15																																																																																										
18	17																																																																																										
20	19																																																																																										
Bloque 2																																																																																											
2	1																																																																																										
4	3																																																																																										
6	5																																																																																										
8	7																																																																																										
10	9																																																																																										
12	11																																																																																										
14	13																																																																																										
16	15																																																																																										
18	17																																																																																										
20	19																																																																																										
Bloque 1																																																																																											
2	1																																																																																										
4	3																																																																																										
6	5																																																																																										
8	7																																																																																										
10	9																																																																																										
12	11																																																																																										
14	13																																																																																										
16	15																																																																																										
18	17																																																																																										
20	19																																																																																										

Figura 16. Diseño experimental por bloques para probar la eficiencia antifúngica del extracto líquido de lombricomposta a partir de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.

2.7.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue por bloques, teniendo dos tratamientos, con 20 repeticiones, en las que se colocaron macetas plásticas con capacidad de 10 litros, estas macetas se rellenaron con una mezcla de lombricomposta con cacahuatillo en una proporción 40/60 (V/V).

2.7.4. Establecimiento del cultivo

La experimentación en campo se llevó a cabo dentro de un invernadero, colocando dentro de este las macetas plásticas, sembrando en cada una de ellas una planta de jitomate. El manejo agronómico que se le dio a este cultivo fue totalmente orgánico.



Figura 17. Sustrato utilizado para llenar las macetas plásticas para la siembra de jitomate (Fuente propia 2019).

2.7.5. Siembra

La siembra del semillero se realizó en el mes de junio de 2019, utilizando charolas de poliestireno de 200 cavidades con dimensiones de 60 x 34 cm. Se utilizó como sustrato turba y perlita, humedeciéndose hasta el punto de escurrimiento colocando una semilla por cavidad, la semilla se depositó a 0.5 cm de profundidad,

posteriormente se aplicó un riego muy ligero (figura 18). Se cubrieron con plástico negro durante 4 días para conservar la humedad del sustrato y favorecer la germinación. Posteriormente se destaparon, los riegos se realizaron diario durante la mañana y la tarde.



Figura 18. Siembra de semilla de jitomate en charolas de poliestireno (Fuente propia 2019).

2.7.6. Trasplante

Se realizó el día 10 de julio de 2019 (cuarenta días después de la siembra), en bolsas de polietileno negro con dimensiones de 21 x 35 cm. Las bolsas se llenaron con el sustrato de cacahuatillo y lombricomposta y se perforaron en la parte inferior para permitir el drenaje por el exceso de agua (Figura 17). Las características de las plántulas trasplantadas es que tuvieran una altura aproximada de 20 cm con un promedio de cuatro a cinco pares de hojas verdaderas, cepellón y apariencia sana. Al realizar este se cuidó que la raíz quedará de forma vertical y el cuello de la plántula al nivel del sustrato (Figura 19).



Figura 19. Trasplante de plántula de jitomate en bolsa plástica (Fuente propia 2019).

2.7.7. Riego

El riego después del trasplante se realizó 3 veces por semana, aumentándose así de acuerdo a las necesidades de la planta.

2.7.8. Poda

Se efectuó a los 20 días después del trasplante, fueron a un solo tallo por tratarse de plantas de hábitos indeterminados. Se realizaron cada semana después del trasplante y se continuaron hasta la finalización del ciclo de cultivo. Se elaboró de forma manual.

2.7.9. Tutorado

Se llevó a cabo a los 20 días del trasplante, colocando palos de madera y amarrando con rafia para que los tallos permanecieran de forma vertical. Una vez que las macetas se mudaron dentro del invernadero, el tutorado con rafia se realizó a los 12 días, colocando rafia de forma restirada en la parte superior del invernadero,

dejando caer de esta parte rafia individual por planta amarrados sobre el tallo de la planta (debajo de la primera hoja) dando dos o tres vueltas en espiral hacia arriba, esto con el fin de sostenerla durante todo el ciclo de cultivo (Figura 20).



Figura 20. Tutorado de plantas de jitomate (Fuente propia 2019).

2.7.10. Fertilización

La aplicación de los bio-estimulantes orgánicos se realizó una vez a la semana, de acuerdo a la siguiente formulación: 100 ml de cada uno de estos en 20 L de agua. De esta preparación se dosificaron 250 ml de cada uno de los preparados a la planta (Tabla 8).

Tabla 8. Bio estimulantes orgánicos utilizados para la fertilización de las plantas de jitomate (Nutri Insumos Mexicanos, 2019).

Nutri Potash 0-5-35 (N 0%, P 5%, K 35% y MO 30%)	100 ml
NutriGró 8-24-8 (N 8%, P 24%, K 8% y MO 30%)	100 ml
Nutri Balance 32-11-11 (N 32%, P 11%, K 11% y MO 30%)	100 ml

NutriGró 8-24-8: es un bio estimulante orgánico del sistema radicular y vegetal, que estimula la regeneración de los pelos absorbentes e incrementa la fauna útil del suelo, potencializando y protegiendo las raíces, así como promotor de la floración.

Nutri Balance 32-11-11: es un bio estimulante orgánico que favorece el crecimiento vegetativo de forma rápida, ayuda a inducir de forma temprana los órganos florales y el desarrollo de los frutos.

Nutri Potash 0-5-35: bio estimulante que mejora la calidad de la fruta, así como el sabor y da mayor resistencia al manejo y vida de anaquel.

2.8. Labores culturales

2.8.1. Plagas y enfermedades

Se hicieron aplicaciones preventivas contra enfermedades fungosas a base de azufre en polvo agrícola al 93% para combatir la presencia de cenicilla (*Liveillula taurica*) y Bioprotec un fungicida orgánico elaborado a base de Extracto de *Larrea tridentata* (Gobernadora), extracto de *Origanum vulgare* (Oregano), Hidrogenocarbonato de sodio, y resina de *Pinus spp.* Las aplicaciones de estos productos se realizaron una vez a la semana. Para combatir plagas como la del gusano minero y la de la mosquita blanca se realizaron aspersiones foliares de jabón potásico y un bioinsecticida a base de ajo y chiles habaneros que se aplicó alternadamente.

2.8.2. Deschuponado (eliminación de brotes axilares)

Se realizaron una vez a la semana, esto con la finalidad de evitar que estos brotes axilares roben energía y nutrientes a la planta, realizado de forma manual.

2.8.3. Poda de hojas

Esta labor también se realizó una vez a la semana, el objetivo de realizar esta labor es fomentar la buena circulación del aire y que los frutos tengan un mejor color y se desarrollen mejor. Las hojas que se podan son las que se encuentran en la parte baja de la planta. Las hojas que presentaban algún síntoma de enfermedad también se podaron para evitar existiera contagio con plantas sanas, realizado de forma manual.

2.8.4. Poda de formación

Se realizó durante las tres semanas posteriores al trasplante, esto se realiza para dejar solo el tallo principal, se realizó con la ayuda de tijeras de poda de 8 pulgadas de acero templado.

2.8.5. Deshierbe

Al igual que las otras labores culturales se realizó de forma manual una vez a la semana, esto consiste en evitar el crecimiento de arvenses dentro de las macetas plásticas y el suelo del invernadero, con esto se pretende evitar la competencia por nutrientes, espacio y para impedir la presencia de insectos vectores dentro del invernadero.

2.8.6. Cosecha

Se realizó manualmente y por racimo (conforme maduraban los frutos). El primer corte se llevó a cabo a los 90 ddt. Los frutos se colectaron en el término rayado (40% o más de la superficie cubierta por color rosa-rojo) hacia maduro (rojo 100%) (Figura 21).



Figura 21. Cosecha de jitomate de producción orgánica (Fuente propia 2019).

2.9. Variables agronómicas

2.9.1. Variables morfológicas

2.9.1.1. Altura de la planta

Se midió con un flexómetro de acero templado enrollado de 5 metros, se consideró la longitud del tallo desde el nivel del sustrato (cuello de la planta) hasta la parte superior, se evaluó semanalmente durante mes y medio.

2.9.1.2. Diámetro de tallo

Se tomó como punto de referencia para medir el grosor del tallo el primer entrenudo que se ubica debajo de la primera inflorescencia, estas mediciones se realizaron con la ayuda de un vernier digital marca Truper.

2.9.1.3. Rendimiento

Se realizaron los cortes de fruto para posteriormente ser pesados y determinar el rendimiento parcial por tratamiento. El pesaje de los frutos se realizó en una báscula electrónica digital marca JUST HOME con una capacidad de 1 gramo a 40 kilos.

2.9.1.4. Severidad del daño causado por hongos fitopatógenos

Esta se evaluó utilizando una escala de severidad del 0 al 5 según Gabriel (2017) (Tabla 9).

Tabla 9. Valores asignados a diferentes daños por severidad (Gabriel, 2017).

Escala	Intensidad de la enfermedad
0	Sano o sin síntomas visibles
1	Síntomas visibles llegando de a 5% del área total sana
2	Las manchas empiezan a unirse, llegando a ocupar del 6 al 20% del área sana
3	Las hojas comienzan a necrosarse de manera muy notoria, afectando del 21 al 50% del área sana
4	Mayor al 50% del área foliar se encuentra afectada

2.9.2. Cultivo vegetal para identificación de fitopatógenos ambientales

2.9.2.1. Recolección del material vegetal para el aislamiento de los patógenos

Se recolectaron hojas de jitomate que presentaban los síntomas típicos de una infección por fitopatógenos, estas se colocaron individualmente dentro de bolsas plásticas Ziploc, rotuladas, transportadas dentro de una mini hielera con geles de hielo para poder realizar su transportación, posteriormente se congelaron dentro de uno de los refrigeradores del laboratorio de microbiología de la BUAP.

2.9.2.2. Aislamiento de fitopatógenos a partir de material vegetal

Durante la realización del proyecto se utilizaron diferentes medios de cultivo, entre ellos PDA, el cual es un medio utilizado para hongos. El cual se prepara con 200 g de papa cortada en rodajas finas y se pone a hervir con un litro de agua destilada durante aproximadamente media hora. Una vez transcurrido este tiempo se filtra o se cuela todo el preparado a través de una gasa. El líquido obtenido se completa con agua destilada hasta llegar a un litro. A esta infusión se le adicionan 20 gramos de agar-agar y 20 g de glucosa, se mezcla bien y se esterilizó en autoclave entre 15 y 20 minutos a 121 °C. Una vez que se enfría se vierte sobre las placas Petri estériles.

2.9.2.3. Desinfección del material vegetal

Las hojas colectadas en campo se sometieron a un proceso de desinfección. Se cortaron las hojas en pedazos de aproximadamente 5 milímetros por lado, buscando que la mitad de estos pedazos presentaran una parte sana y en la otra estuviera presente la lesión. Se sumergieron dentro de agua estéril durante 1 minuto, posteriormente se colocaron en una solución que contenía hipoclorito de sodio al 2% durante 1 minuto, continuando con un enjuague de agua estéril durante dos minutos, esto para evitar la presencia del hipoclorito de sodio. Se secaron con sanitas esterilizadas previamente. Una vez secos estuvieron listos para ser sembrados en el medio PDA.

2.9.2.4. Cultivo del material vegetal en el medio PDA

Los explantes previamente desinfectados se colocaron en las cajas Petri con el medio PDA, la mitad de cada explante se introdujo dentro del medio dejando la otra mitad fuera de este, las cajas Petri se sellaron con doble cinta parafilm esto se hace

para evitar la contaminación. Se pusieron en una en una incubadora a 30° hasta que los hongos ocuparon toda la superficie de la caja. Debido a que dentro de las cajas Petri se encontraron diferentes sepas de hongos, se procedió al aislamiento de las diferentes sepas, para lograr la purificación y poder realizar la identificación de estas.

2.9.2.5. Identificación microscópica

Para poder realizar esta, se utilizó una cinta transparente la cual se presiona ligeramente sobre el hongo que se desea identificar, para que así pueda adherirse una pequeña cantidad de micelio y conidias. Posteriormente se coloca sobre un portaobjeto una gota de azul de metileno y sobre esta se pega la cinta transparente. La placa se observa en el microscopio en un aumento de 100X, y mediante claves se realiza la identificación.

2.10. Análisis estadístico

El proceso de los datos y el análisis estadístico se realizó en el programa STATGRAPHICS Centurion versión 16.1 (2013). Los datos obtenidos de la altura de la planta, diámetros de tallos y rendimiento parcial se analizaron mediante una prueba de medias con la t de Student ($P \leq 0.05$), para los datos obtenidos de lesiones causadas por los fitopatógenos se analizaron con la prueba de Chi cuadrada (X^2).

3. Resultados

3.1. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta

Las características químicas del extracto líquido de lombricomposta, como el pH y la CE, se muestran en la Tabla 10. Los valores del pH fueron de 7.43, lo cual representa un valor aceptable, mientras que la conductividad eléctrica muestra un valor de 4.61 que es un valor alto de acuerdo a los estándares de calidad de Jones y Wolf (1984) (Tabla 10).

Tabla 10. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta realizada a base de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.

Parámetro	Valor	Calidad (Jones y Wolf, 1984)
pH	7.43	Normal
Conductividad eléctrica dS m ⁻¹	4.61	Mala
Calcio (Ca ²⁺ mg l ⁻¹)	196	Media
Magnesio (Mg ²⁺ mg l ⁻¹)	38.4	Buena
Sodio (Na ¹⁺ mg l ⁻¹)	500	Mala
Potasio (K ¹⁺ mg l ⁻¹)	1000	Mala
Nitratos (NO ₃ ⁻¹) mg l ⁻¹	30	Buena
Sulfatos (SO ₄ ⁻²) mg l ⁻¹	32	Sin restricción
Fosfatos (PO ₄ ⁻³) mg l ⁻¹	24	Mala
Carbonatos (CO ₃ ⁻²) mg l ⁻¹	682	Mala
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹) mg l ⁻¹	579.5	Mala
Cloruros (Cl ⁻¹) mg l ⁻¹	2257.5	Mala

3.2. Ensayo de antagonismo

La prueba de antagonismo se llevó a cabo contra los hongos fitopatógenos *Fusarium spp* y *Rhizopus spp*. contra el extracto líquido filtrado y sin filtrar y se usó *Bacillus subtilis* como control positivo y agua estéril como control negativo. Se encontró que el extracto líquido de lombricomposta (filtrado y no filtrado), al igual que el control negativo, no presentaron ningún efecto antifúngico contra los hongos ensayados; mientras que el control positivo si los inhibió (Figura 22).

Caracterización microbiológica del extracto líquido de lombricomposta

Ensayo de antagonismo

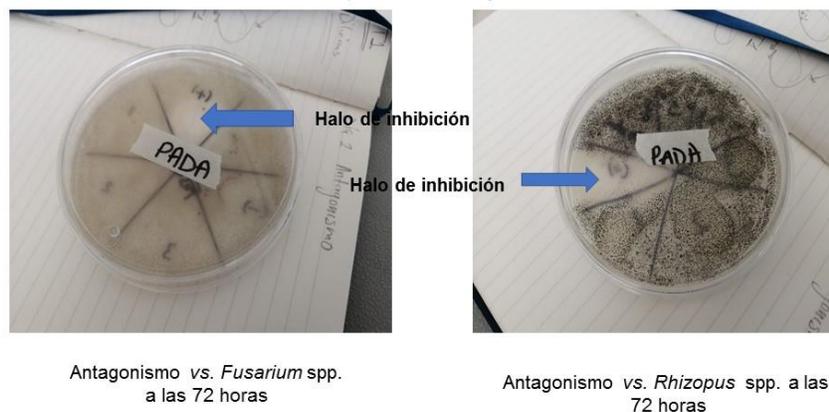


Figura 22. Halos de inhibición en las pruebas de antagonismo (Fuente propia, 2019).

3.3. Carga microbiana del extracto líquido

El número de bacterias y hongos contenidos en el extracto fue similar, en el orden de 10^7 UFC /ml; lo cual es una carga microbiana alta, por lo que es recomendable identificar cuántos de ellos son benéficos para las plantas (Tabla 11).

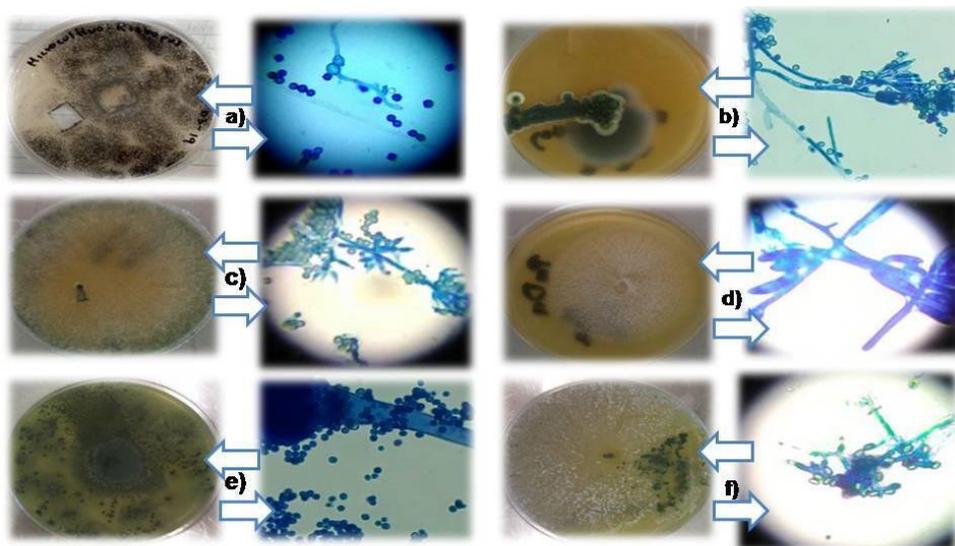
Tabla 11. Conteo de UFC de bacterias (en LB) y hongos (en PDA) presentes en el extracto líquido de lombricomposta.

Medio	Extracto líquido de lombricomposta con eucalipto (72 h) UFC/mL	LOG	Promedio del LOG	Me	σ
LB	2.00E+07	7	7	7	0.39
PDA	1.40E+08	8	7	8	0.45
Total	1.6E+08	7.5	7	7.5	0.42

* Me: Mediana, LOG: logaritmo, σ : Desviación estándar

La identificación de los hongos contenidos en el extracto se llevó a cabo mediante observación al microscopio con un objetivo 100x, agregando al cubre objetos aceite de inmersión, para poder tener una visualización más clara de las estructuras

reproductivas. Algunas de las fotos de las estructuras morfológicas encontradas se encuentran en la Figura 23 (Tabla 12).



Se muestra la identificación macroscópica y microscópicas de hongos del extracto líquido de lombricomposta: a) *Rizhopus*, b y f) *Trichoderma*, c) *Aspergillus*, d) *Penicillium*, e) *Fusarium*.

Figura 23. Estructuras reproductivas de los hongos presentes en el extracto líquido de lombricomposta (Fuente propia, 2019).

Tabla 12. Se muestran las posibles especies de hongos presentes en el extracto líquido de lombricomposta y su abundancia.

Organismo	Conteo (UFC/mL)
<i>Fusarium spp</i>	5×10^6
<i>Trichoderma spp</i>	5×10^6
<i>Rizhopus spp</i>	5×10^6
<i>Aspergillus spp</i>	5×10^5
<i>Penicillium spp</i>	5×10^7
<i>Trichoderma spp</i> (azul)	5×10^6
<i>Aspergillus spp</i> (naranja)	5×10^6

Dado que las bacterias Gram negativas se han asociado con patógenos de humanos, realizamos la identificación de las bacterias presentes en el extracto mediante la tinción de Gram, en donde aproximadamente el 82% fueron bacterias Gram positivas y el 18% fueron Gram negativas. Es importante mencionar que

dentro de las Gram negativas se encuentra el género *Pseudomonas* cuyas especies *protegens*, *fluorencens*, *putida* KT2440, y *brassicacearum* son promotoras del crecimiento vegetal e inofensivas para el ser humano (Figura 24).



Figura 24. Fotomicrografía donde se observan bacterias Gram positivas (bacilos) que se encuentran presentes en el extracto líquido de lombricomposta (aumento 100 x) (Fuente propia, 2019).

3.4. Pruebas en campo

Las tres aplicaciones del extracto líquido de lombricomposta vía foliar al cultivo de jitomate saladette se realizaron cuando la planta se encontraba en etapa de producción de fruto. Los resultados de los parámetros medidos son los siguientes:

3.4.1. Diámetros de tallo

Se realizaron mediciones semanalmente de las plantas de jitomate para los dos tratamientos utilizados durante el experimento en su fase de campo (Tabla 13).

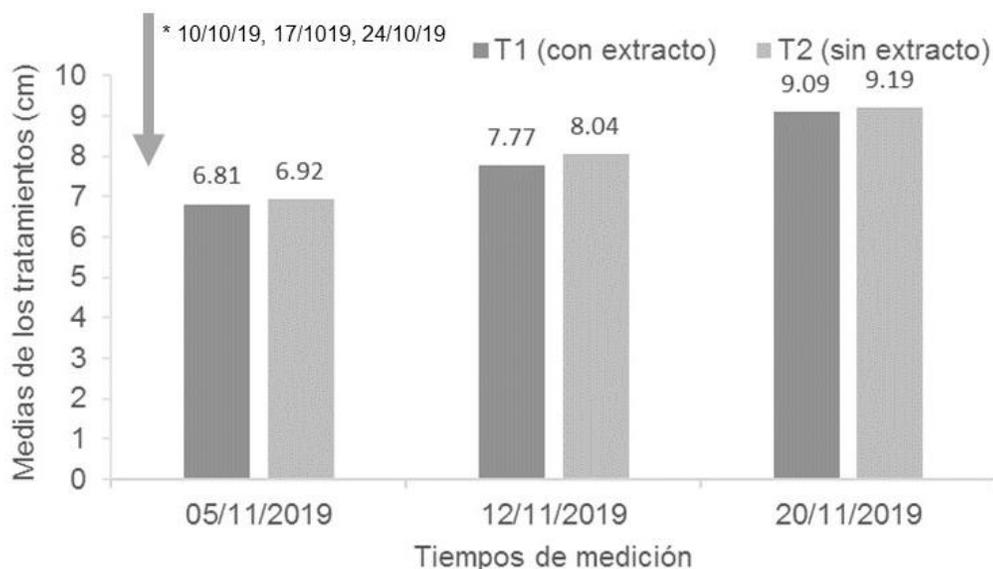
Tabla 13. Medias de los diámetros de tallo (cm) de las plantas de jitomate.

	V ₂ T ₁	V ₂ T ₂	V ₂ T ₃
T ₁ (con extracto)	6.81	7.77	9.09
T ₂ (sin extracto)	6.92	8.04	9.19

*V₂ Variable 2 (diámetro).

* T₁, T₂, T₃, (fechas en las que se realizaron las mediciones del ancho de los tallos [05/11/19, 12/11/19 y 20/11/19]).

Para los tres tiempos que van del **T₁** al **T₃** no existe diferencia significativa entre los dos tratamientos empleados ($P \leq 0.05$). La diferencia en los tres tiempos de medición de diámetro de tallos es: **T₁**: 0.11, **T₂**: 0.27, **T₃**: 0.1, siendo en todos los casos a los que no se les agrego el extracto líquido de lombricomposta los que presentaron mayor crecimiento en el diámetro de tallo.



* aplicaciones del extracto líquido de lombricomposta

Figura 25. Diámetros de tallo (cm) de las plantas de jitomate en el presente experimento.

3.4.2. Altura de la planta. Para el caso del largo de los tallos (m), las mediciones también se realizaron semanalmente (Tabla 14).

Tabla 14. Medias de la altura de la planta de jitomate (m).

	V ₁ T ₁	V ₁ T ₂	V ₁ T ₃
T1 (con extracto)	1.34	1.41	1.45
T2 (sin extracto)	1.4	1.49	1.54

*V₁ Variable 1 (largo).

*T₁, T₂, T₃ (fechas en las que se realizaron las mediciones del largo de los tallos ([05/11/19, 12/11/19, 20/11/19])).

Para los tres tiempos que van del T₁ al T₃ no existe diferencia significativa entre los dos tratamientos empleados ($P \leq 0.05$). La diferencia en los tres tiempos de medición de la altura de la planta es: T₁: 0.06, T₂: 0.08, T₃: 0.09, siendo en todos los casos a los que no se les agrego el extracto líquido de lombricomposta los que presentaron mayor crecimiento en la altura de la planta.

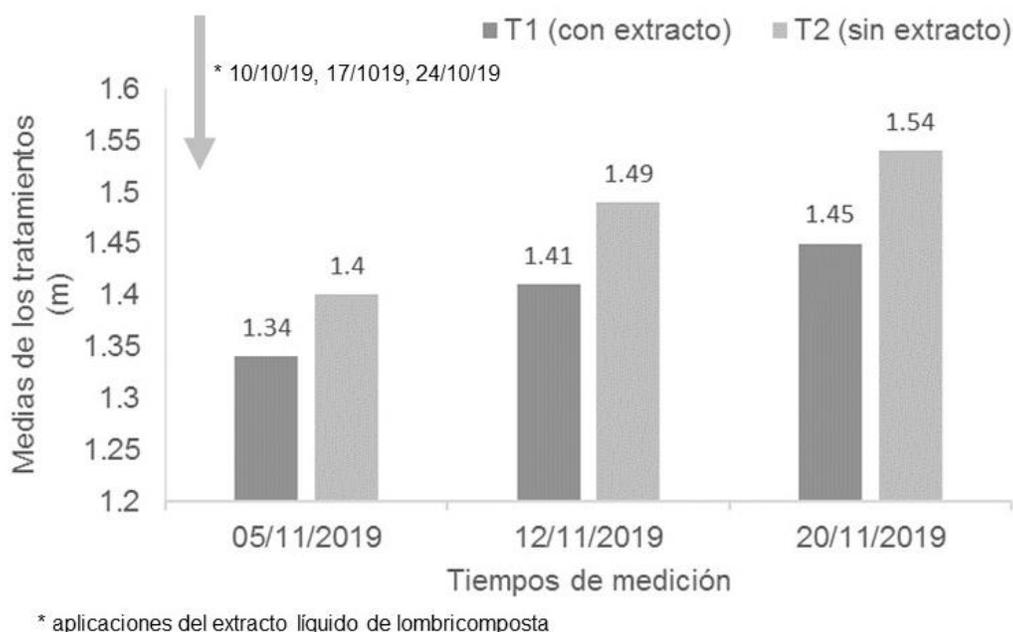


Figura 26. Altura de la planta (m) de jitomate en el presente experimento.

3.4.3. Producción parcial de fruto. La producción de frutos no resultó beneficiada por la aplicación del extracto (Tabla 15).

Tabla 15. Datos de la producción de fruto (kg) de las plantas de jitomate.

	V ₃ T ₁	V ₃ T ₂	V ₃ T ₃
T₁ (con extracto)	3.640	7.450	11.500
T₂ (sin extracto)	3.906	9.200	11.600

*V₃ Variable 3 (producción).

* T₁, T₂, T₃, (fechas en las que se realizaron los cortes de fruto de las plantas de jitomate [21/10/19, 28/10/19, 13/11/19]).

En la producción tampoco existieron diferencias significativas entre tratamientos ya que en los tratamientos a los que se les aplicó y a los que no se les aplicó dicho extracto presentaron una producción similar (Figura 4). La diferencia en los tres tiempos de cortes para medir parcialmente el rendimiento es: T_1 : 0.206, T_2 : 1.8, T_3 : 0.1, siendo en todos los casos a los que no se les agrego el extracto líquido de lombricomposta los que presentaron mayor rendimiento parcial.

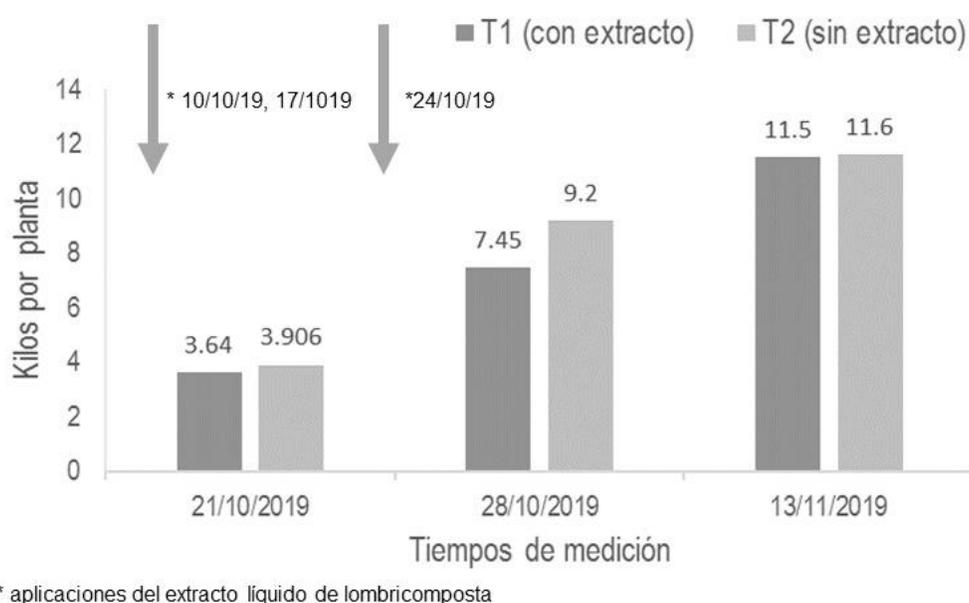


Figura 27. Rendimiento parcial (kg) de las plantas de jitomate en el presente experimento.

3.4.4. Lesiones causadas por contaminación ambiental

Después de las tres aplicaciones del extracto líquido de lombricomposta, se produjo la contaminación por patógenos, debido a que un invernadero infestado con hongos fitopatógenos se encontraba a 3 metros de distancia de donde se aplicaron los tratamientos, se presentaron hongos fitopatógenos, los que se transmitieron a las plantas bajo los tratamientos en estudio. Se observó que las lesiones en nuestras

plantas eran similares a las del invernadero infestado y posiblemente fueron causadas por los mismos hongos (Figura 28).

Representación gráfica del daño causado por hongos en plantas de jitomate

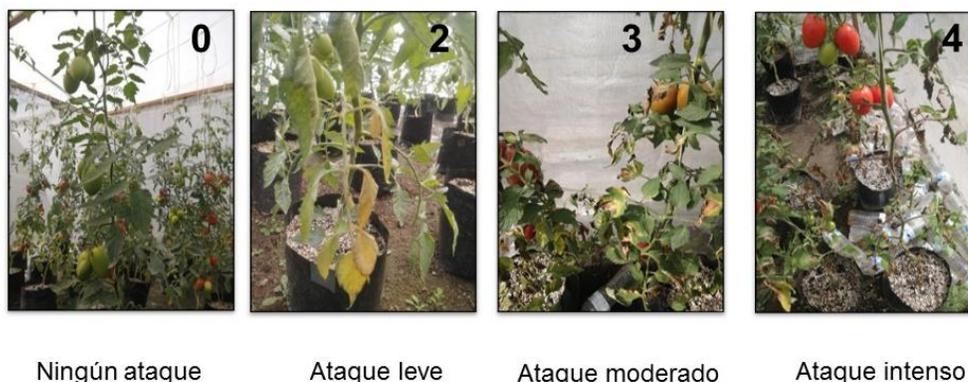


Figura 28. Lesiones causadas por hongos fitopatógenos, mostrando las diferentes intensidades con las que las plantas fueron dañadas en el presente experimento.

Para poder asignar valores cuantitativos a las lesiones provocadas por los hongos fitopatógenos se utilizó la tabla publicada por Gabriel (2017). Para analizar estos datos se empleó una prueba de Chi cuadrada (Tabla 16).

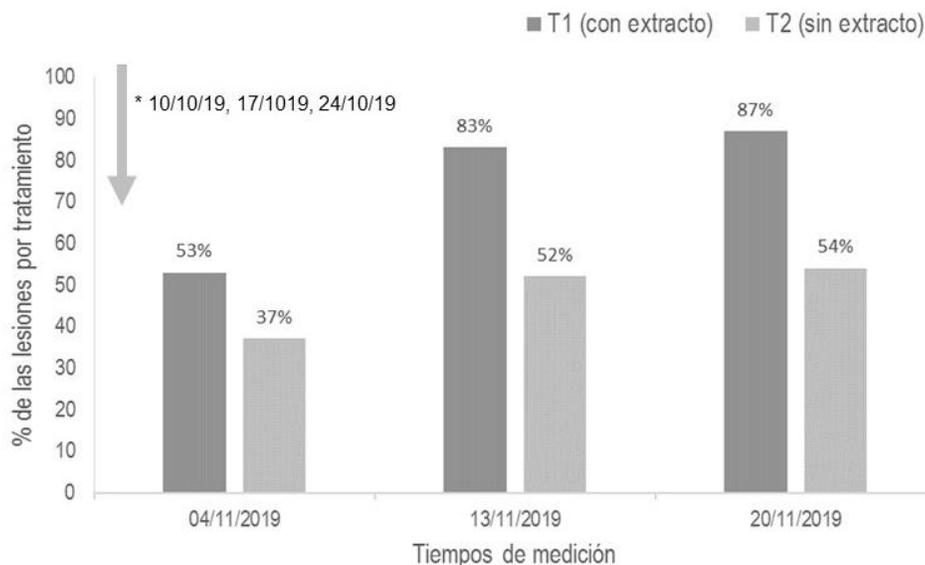
Tabla 16. X² (Chi cuadrada) de las lesiones causadas por hongos fitopatógenos a las plantas de jitomate en el presente experimento.

	V ₄ T ₁	V ₄ T ₂	V ₄ T ₃
T₁ (con extracto)	53	83	87
	14.48%	22.68%	23.77%
T₂ (sin extracto)	37	52	54
	10.11%	14.21%	14.75%
Total, por columna	90	135	121
	24.59%	36.89%	39.07%

*V₄ Variable 4 (lesiones).

* T₁, T₂, T₃, (fechas en las que se realizaron las evaluaciones de las lesiones causadas por hongos fitopatógenos en las plantas de jitomate [04/11/19, 13/11/19, 20/11/19]).

Después de las aplicaciones foliares del extracto líquido se encontró que a los tratamientos a los que se les aplicó el extracto líquido presentaron mayores lesiones por hongos fitopatógenos, cabe mencionar que dichos bloques se encontraban a las orillas del invernadero por lo que se encuentran más vulnerables a los ataques de microorganismos ambientales (Figura 29).

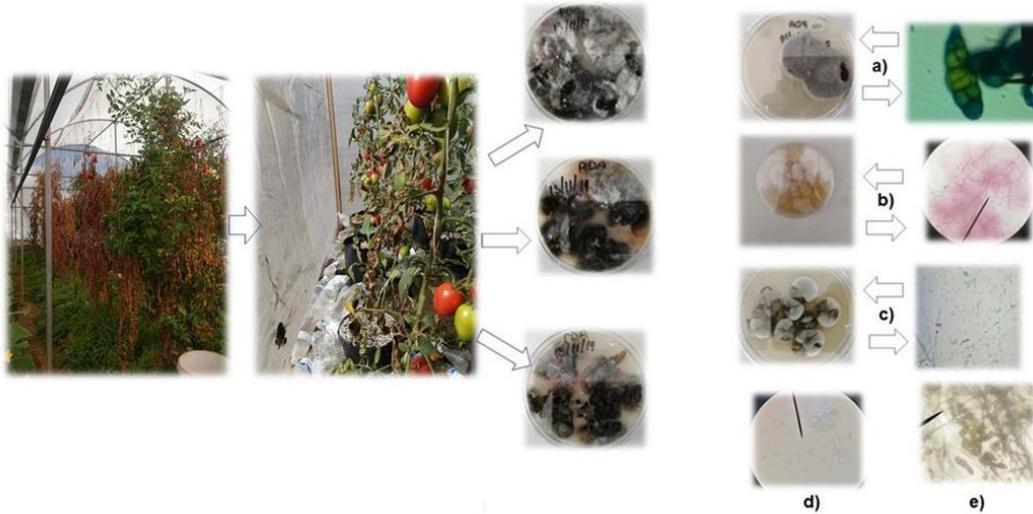


* aplicaciones del extracto líquido de lombricomposta

Figura 29. Lesiones causadas por hongos fitopatógenos a plantas de jitomate en el presente experimento.

3.5. Cultivo vegetal para identificación de fitopatógenos

No hay certeza en la identificación de hongos fitopatógenos debido al uso de guías, para la caracterización molecular de los hongos es recomendable realizar pruebas de PCR (Figura 30).



Se muestra identificación macroscópica y microscópica de hongos ambientales: a) *Culvularia* spp., b) *Fusarium oxysporium*, c) *Cladosporium* spp., d) *Botrytis cinérea*, e) *Alternaria solani*.

Figura 30. Muestra la fuente de contaminación ambiental que infecto el cultivo en el que se estaba probando el extracto líquido de lombricomposta, hongos fitopatógenos identificados mediante la siembra de cultivo vegetal en medio PDA en el presente experimento.

Los hongos fitopatógenos que se identificaron mediante el cultivo vegetal fueron los siguientes:

- a) *Culvularia* spp.
- b) *Fusarium oxysporium*
- c) *Cladosporium* spp.
- d) *Botrytis cinérea*
- e) *Alternaria solani*

4. Discusión

En la revisión de literatura se observó que existen diferentes formas de preparar los téis, lixiviados y extractos de lombricomposta lo cual puede afectar la calidad y la efectividad según lo descrito por Ingham (2005) y por Diver (2002).

4.1. Efecto antifúngico

Al respecto Hoitink *et al.*, (1997), Scheuerell y Mahaffee, (2001), Scheuerell y Mahaffee (2004), Marin *et al.*, (2013) mencionan que existen diferencias en la efectividad de los téis, lixiviados o de los extractos líquidos de lombricomposta en el combate de patógenos, lo que se atribuye a variaciones en el método de preparación como la composta utilizada, edad, tiempo de aireación, lotes, población microbiana. Ingham (2005), menciona que utilizó diferentes tipos de materia orgánica para realizar extractos líquidos de lombricomposta a partir de hojas de plátano y residuos de césped, reportando que los resultados obtenidos pueden variar en función de la elección de dicha materia orgánica, por lo que esto podría ser una de las causas por las que dicho experimento presentó resultados diferentes a los reportados por otros autores.

Reines *et al.*, (2006), comprobó que los lixiviados de humus de lombriz, al ser aplicados al follaje de plantas cultivadas, por su control de patógenos, pueden sustituir a los fungicidas químicos, generando así ahorros económicos importantes, estos resultados difieren de los obtenidos en el presente trabajo, debido a que al aplicar el extracto líquido de lombricomposta de forma foliar a las plantas de jitomate el efecto supresor para microorganismos patógenos fue nulo, los síntomas causados por estos patógenos hicieron presencia una vez que la humedad relativa y la temperatura aumentaron dentro del invernadero.

Siddiqui *et al.*, (2008), (2009) y (2011) mencionan que los extractos líquidos de lombricomposta, son una alternativa o complemento para fertilizantes químicos ya que éstos ayudan al crecimiento de las plantas y al manejo de las enfermedades. Estos resultados son completamente diferentes a los que se obtuvieron, ya que, si existió diferencia significativa en cuanto al crecimiento y sanidad de las plantas entre los dos tratamientos, teniendo mejores resultados el tratamiento en el que no se

utilizó el extracto líquido de lombricomposta el cual está elaborado a base de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios con hojarasca de eucalipto.

En lo que respecta al extracto líquido de lombricomposta y su efecto fungicida Scheuerrell y Mahafee, (2002), Schuerrell, (2003), Edwards *et al.*, (2006), Al-Mughrabi *et al.*, (2008), Marin *et al.*, (2013), (2014), reportan resultados positivos del uso de extractos o tés para el combate de patógenos como *Botrytis cinérea*, *Phytium ultinum*, *Alternaria solani*, *Verticillum dahliae*, *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, entre otros fitopatógenos, los resultados que se obtuvieron en las pruebas *in vitro* demostraron que no se tuvo eficiencia en el control de *Fusarium spp.* y *Rhizopus spp.* Posiblemente el extracto líquido de lombricomposta que se utilizó no tuvo ningún efecto fungicida en las pruebas *in vivo*, ya que los tratamientos a los que no se les aplicó extracto líquido de lombricomposta fueron los que presentaron plantas con lesiones o daños menores, a diferencia de los tratamientos a los cuales si se les aplicó los cuales presentaron mayores lesiones.

Es importante mencionar que la aplicación de extracto líquido de composta o lombricomposta no es garantía de efectos de disminución de enfermedades en plantas, como lo menciona Zaller, (2006) quien probó un extracto de lombricomposta derivado de frutas, vegetales y desperdicio de algodón contra *Phytophthora infestans* un género que Dianéz *et al.*, (2006) y Kravroulakis *et al.*, (2010) reportaron que controlaron con extracto de composta) y concluyó que el extracto no tenía efectos significativos en el control de dicha enfermedad, coincidiendo estos resultados con los que se encontraron en este trabajo.

Hernández (2019), encuentra que, al realizar ensayos con extracto líquido de lombricomposta para controlar enfermedades, normalmente se encuentran resultados positivos, esto es la disminución del desarrollo de los hongos patógenos.

4.2. Caracterización química del extracto líquido de lombricomposta

4.2.1. Conductividad eléctrica

Dentro de los parámetros usados para medir la disponibilidad de minerales y nutrientes está la conductividad eléctrica (CE). Para el caso del extracto líquido de lombricomposta en estudio se presenta en un rango alto (4.61) en comparación con

los propuestos por Abad *et al.*, (2004) mencionando valores dentro de los rangos que van del 0.75 a 1.99 dS m⁻¹, hay que recordar que aunque este extracto se encuentra con un valor alto está concentrado, y que para su uso se debe disolver en una proporción 1:9 con agua, por lo que al realizar esta dilución la conductividad eléctrica se encontraría en niveles óptimos para su uso.

4.2.2. pH

En lo que respecta al valor del pH en el que se encuentra el extracto es de 7.43 ubicándose dentro de los parámetros neutros de la escala en la que se mide el potencial de Hidrógeno pudiendo entrar dentro de los valores que Molina, (2002) menciona diciendo que el pH debería regularse en un ámbito ligeramente ácido que oscile entre 5.5 y 6.5 rango que presenta las mejores condiciones generales para la absorción de nutrimentos vía foliar.

Caro (2004) y Calderín *et al.*, (2013), reportaron que los valores promedio del pH para los extractos líquidos de lombricomposta deben encontrarse entre los 7.5 y 8.3, mencionando, que cuando los valores del pH rebasan los valores neutrales no debe existir una preocupación por la aplicación debido a que al aplicar se debe hacer una dilución en agua, lo cual disminuirá los altos valores. Los valores reportados por estos autores coinciden con los valores reportados en este trabajo.

4.3. Carga microbiana del extracto líquido

Blandon *et al.*, (1998) reportan la presencia de hongos como *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus spp.*, mencionando la importancia de la identificación de la flora presente en los extractos líquidos de lombricomposta indicando que la presencia de dichos organismos puede beneficiar el desarrollo del cultivo, coincidiendo lo reportado con los hongos encontrados en los estudios microbiológicos de dicho trabajo. La identificación de esta microbiota permitiría determinar las funciones específicas de cada grupo y así poder determinar su acción potencial en el área de la nutrición vegetal.

Arteaga *et al.*, (2020) hicieron la cuantificación de microorganismos presentes en el extracto líquido de lombricomposta, diluido y sin diluir. Las UFC que reportan son similares a las que se encontraron en este estudio, los microorganismos reportados

en ambos trabajos son bacterias, hongos, actinomicetos. Brinton (2004) también reporta los mismos microorganismos que reporta Arteaga y el presente estudio.

La gran abundancia microbiológica de las vermicompostas viene dada, principalmente, por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbiana que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos (Bollo, 1999).

Diversos autores, han relacionado esta riqueza microbiana con la ventaja que muestra la vermicomposta en lo que respecta a su actividad supresora de algunas enfermedades fitopatógenas y han relacionado esta cualidad directamente con una mayor población de microorganismos benéficos (Ramírez, 1996).

Generalmente se acepta a la actividad microbiológica como un factor fundamental en el control de enfermedades, sin embargo, existen también extractos cuyas propiedades químicas y bioquímicas (no microbiológicas) no disminuyen el desarrollo de hongos patógenos, como lo ocurrido en este experimento.

El control biológico de enfermedades de plantas a través del uso de extracto de composta o lombricomposta comúnmente es atribuido a la actividad biológica, particularmente a los microorganismos (Kavroulakis *et al.*, (2010), Gurama *et al.*, (2012), Gómez-Brandon *et al.*, (2015). Esto ha sido derivado de diversos experimentos que se han centrado en contrastar los efectos del extracto de composta. St. Martin *et al.*, (2012) reportaron la disminución del crecimiento del patógeno *Phyitium ultimum* a través del uso de un extracto de composta derivado de hoja de banana, aserrín, estiércol de vaca, entre otros. Más recientemente Marin *et al.*, (2013) reportaron que el extracto de composta aireado y no-aireado inhiben el crecimiento de *Erysiphe cichoracearum*.

4.4. Ensayo de antagonismo

Leyva *et al.*, (2017) realizaron pruebas de antagonismo con extractos líquidos de lombricomposta, reportando ausencia de inhibición sobre organismos fitopatógenos como *Fusarium sp.*, el resultado reportado por estos autores coincide con los resultados obtenidos tanto en las pruebas *in Vitro* como *in Vivo*. Por otro lado, Arteaga *et al.*, (2007) llevan a cabo pruebas de antagonismo mediante las técnicas de dilución y extracto puro, reportando que si un extracto líquido de lombricomposta

no tiene efectos antagónicos puede deberse a la abundancia de nutrientes haciendo que los mecanismos de antagonismo no se expresen. Por su parte Morales *et al.*, (2017) sugieren que los microorganismos tienen la capacidad para secretar sustancias de actividad antifúngica, que se pueden manifestar como mecanismos de defensa en organismos que habitan en sitios en donde los nutrientes y los factores ambientales son adversos.

4.5. Altura de la planta

Fornaris *et al.*, (2009), experimentaron en plantas de jitomate, encontraron que al no aplicar extracto líquido de lombricomposta las plantas son de talla pequeña, la emisión del primer racimo es menos prolongada. Por su parte Cruz (2014) evalúa la aplicación de extractos líquidos de lombricomposta en plantas de lechuga y espinaca obteniendo las tallas más bajas en comparación al resto de tratamientos aplicados, los resultados obtenidos en el presente experimento son contrarios a los reportados por Cruz, ya que el tratamiento sin extracto líquido fue el que presentó plantas con mayor altura en las plantas de jitomate.

Vizcarra *et al.*, (2017) trabajaron con plantas de girasol aplicando y no aplicando extracto líquido de lombricomposta, reportaron que no existió diferencia significativa entre tratamientos, pero el tratamiento al que se le aplicó extracto líquido fue el que presentó mayor altura.

4.6. Diámetro de tallos

Cruz (2014) realizó una evaluación en los diámetros de tallos después de aplicar extractos líquidos de lombricomposta, reportando que no existe diferencia significativa entre los dos resultados.

4.7. Producción

Fornaris *et al.*, (2009), reportan que al aplicar el extracto líquido de lombricomposta a las plantas de jitomate estas presentan mayor proporción de frutos y que los frutos son más carnosos. Plantas de jitomate a las que no se les aplicó el extracto líquido presentan frutos de segunda calidad, es decir, de menor tamaño y menor carnosidad. Los resultados obtenidos en el presente trabajo no pueden ser comparados con lo mencionado por Fornaris (2009), debido a que la aplicación del extracto se realizó cuando las plantas estaban en etapa de fructificación, por lo que

no se puede determinar si la aplicación influyo en el desarrollo de los frutos. Estos mismos autores encontraron que las dosis altas de los lixiviados de lombricomposta tienen un efecto marcado en el incremento del peso de los jitomates.

Vizcarra *et al.*, (2017) evaluaron el rendimiento del aceite producido por plantas de girasol a las que se les aplicó y no se les aplicó extracto líquido de lombricomposta y no se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos, coincidiendo estos resultados con los encontrados en el presente experimento.

4.8. Lesiones

Francescangeli *et al.*, (2012) aplicaron extracto líquido de lombricomposta durante las primeras 4 semanas, encontrando que el daño presentado en las hojas es menor en comparación con el grupo control, estos resultados son contrarios a los que se encontraron en este trabajo, en este caso las plantas a las que se les aplicó el extracto líquido de lombricomposta presentaron menor daño en comparación a las plantas a las que se les aplicó el extracto líquido. Al comparar la evolución entre el tratamiento con extracto líquido de lombricomposta no se encontraron diferencias significativas en los datos recabados del día 4 de noviembre y los del día 20 de noviembre, estos resultados son congruentes con un estudio similar desarrollado por Westerveld y Filotas, (2012) en el que prueban tés de composta con *Bacillus subtilis*. En un estudio realizado en papa por Al- Mughrabi, (2006) también menciona que no se encuentran diferencias significativas. Donde sí existe una diferencia significativa (con un intervalo de confianza del 95%) es en la fecha del 13 de noviembre.

Evans *et al.*, (2012) realizaron un estudio en uvas utilizando té de composta, obteniendo un 1% de daño en las hojas por parte de los patógenos, Pane *et al.*, (2012) también reportan daño foliar de un 25% causado por *Alternaria alternata* en plantas de jitomate. Una de las posibles explicaciones a las diferencias existentes en la efectividad de los tés o extractos líquidos es que los patógenos difieren en su fisiología, biología, y requerimientos para sobrevivir, por lo que responden diferente a los efectos antagónicos de otros microorganismos.

5. Conclusiones

El extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto, no posee propiedades antifúngicas *In vitro* e invernadero.

El extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto, no presenta un efecto de inocuidad en el cultivo de jitomate.

La producción promedio del tratamiento con extracto líquido de lombricomposta fue de 11,140 kg/ha, y para el tratamiento sin extracto líquido fue de 12, 340 kg/ha, ambos tratamientos con una densidad de 30,000 plantas por ha.

Aunque el extracto líquido de lombricomposta a partir de la transformación de Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) con hojarasca de eucalipto concentrado presenta valores altos, al realizar diluciones en agua estos valores se pueden encontrar en rangos óptimos para su uso.

Se rechazan las hipótesis planteadas en este trabajo de investigación debido a los resultados contrarios obtenidos.

6. Recomendaciones

- Realizar la caracterización molecular mediante secuenciación del gen que codifica el rRNA 18S de los hongos aislados, para corroborar lo determinado mediante guías dicotómicas.
- Realizar pruebas de antagonismo con los organismos aislados del extracto líquido de lombricomposta y así poder potenciar su uso dentro de la agricultura agroecológica.
- Continuar con más evaluaciones en campo de la aplicación del extracto líquido de lombricomposta durante etapas tempranas del desarrollo de la planta para poder determinar los beneficios económicos y de producción de la aplicación de este producto.
- Se requieren más pruebas para poder aislar y seleccionar de forma eficaz a los microorganismos existentes en el extracto líquido de lombricomposta que puedan resultar de interés para poder comprobar si estos tienen alguna propiedad antifúngica o preventiva contra fitopatógenos en los cultivos.
- Las aplicaciones del extracto líquido de lombricomposta deben realizarse durante la etapa de crecimiento de las semillas y continuar con la aplicación durante las diferentes etapas fenológicas de la planta.

7. Literatura citada

- Abad B., M., P. Noguera M., y C. B. Carrión. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. G. (ed). Tratado de Cultivo sin Suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España. 113-158 pp.
- Al-Mughrabi, K.I. (2006). Antibiosis Ability of Aerobic Compost Tea against Foliar and Tuber Potato Diseases. *Biotechnology* 5(1): 69-74pp.
- Al-Mughrabi, K.I., Bertheleme, C., Livingston, T., Burgoyne, A., Poirier, R. y Vikram, A. (2008). Aerobic compost tea, compost and a combination of both reduce the severity of common scab (*Streptomyces scabiei*) on potato tubers. *Journal of Plant Sciences*, 3(2): 168–175 pp.
- Arancon, N. Q., Edwards, C.A., Dick, R., Dick, L. (2007). Vermicompost tea production and plant growth impacts. *BioCycle*. 48 (11): 51-52 pp.
- Arteaga, B.M., Garcés, P.N., Pino, P.J.A., Otaño, C.L., Veubides, A.H. (2020). Extracto de vermicompost Liplant una alternativa para el desarrollo de la agricultura de conservación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 27(3): 31-41 pp.
- Arteaga, M., Garcés, N., Novo, R., Guridi, F., Pino, J., Acosta, M., Pasos, M., Besú, D. (2007). Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo. *Revista de Protección Vegetal*. 22(2): 110-117 pp.
- Arteaga, M., Novo, R., Pino, J., Rodríguez, J., Pérez, A. (2020). Estudio microbiológico y estabilidad del extracto de lombricompost: Liplant. *Revista Ingeniería Agrícola*. 10 (3): 38-48 pp.
- Audesirk, T., Audesirk, G., Byers, Bruce. (2017). *Biología. La vida en la Tierra con fisiología*. 9na. Edición. México. Pearson Education. 835-885 pp.
- Bashan, Y., De-Bashan, L.E., Prabhu, S., Hernández, J.P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and soil*, 378(1): 1-33 pp.
- Batish, D.R., Singh, H.P., Kohli, R.K., Kaur, S.J.F.E., and Management (2008). *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. 256 (12): 2166-2174 pp.

- Baixauli, C. y Aguilar, J.M. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias. Serie divulgación técnica de la Generalitat Valenciana. 110 pp.
- Bernal, J. A. (2016). Humus líquido más abono bovino en la producción primaria forrajera de la Brachiaria de cumbes (Pasto dallis). (Tesis de Grado. Ingeniero Zootecnista). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
- Bezerra, C.F., Camilo, C.J., Silva, M.K.N., de Freitas, T.S., Ribeiro-Filho, J., Coutinho, H.D.M. (2017). Vanillin selectively modulates the action of antibiotics against resistant bacteria. *Microbial pathogenesis*. 113: 265-268 pp.
- Blandon, C.G., Rodríguez, V.N., Dávila, A.M.T. (1998). Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé* 49(3): 169-185 pp.
- Brinton, W.F., Tränkner, A., Droffner, M. (1996). Investigations into liquid compost extracts. *BioCycle*. 37(11): 68-70 pp.
- Brinton, W.F., Storms, P., Evans, E., Hill, J. (2004). Compost teas: Microbial hygiene and quality in relation to method of preparation. Woods End Research Laboratory, Reprint from *Journal of Biodyn*. 2: 36-45 pp.
- Bollo, E. (1999). *Lombricultura: una alternativa de reciclaje*. Quito. Soboc Grafic. 149 p.
- Bustani, A. A. (1994). Situación de los Residuos Sólidos en México. Centro de calidad ambiental ITESM Campus Monterrey. *Calidad ambiental* 1. 13-16 pp.
- Cadena, M. (2014). Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviado de humus de lombriz y dos formas de aplicación en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea L*) bajo ambiente protegido (No. CIDAB-T-SB321-C32e). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia. Facultad de Agronomía.
- Calderín, G.A., Guridi, I.F., Hernández, G.O.L., De Armas, D.M.M., Huelva, L.R., Rebato, M.S., Martínez, B.D., Berbara, L.R.L. (2013). *Biotechnology of*

humified materials obtained from vermicomposts for sustainable agroecological purposes. *African Journal of Biotechnology*. 12(7): 625-634 pp.

- Caro, I. (2004). Caracterización de algunos parámetros químico-físicos del Liplant, humus líquido obtenido a partir del vermicompost de estiércol vacuno. Tesis de Maestría. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 91 pp.
- Casco, C. A. e Iglesias, M. C. (2005). Producción de biofertilizantes líquidos a base de lombricompuesto. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Comunicaciones científicas y tecnológicas. Resumen A-063.
- Cervantes, M. (2005). Abonos Orgánicos. Centro de Formación Profesional Agraria E.F.A. Campomar. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm.
- Chang, C., Sommerfeldt, T. G. y Entz, T. (1991). Soil chemistry alters eleven annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20: 475-480 pp.
- Chukwujindu, M.A.I., Egun, A.C., Emuh, F.N., Isirimah, N.O. (2006). Compost maturity evaluation and its significance to agriculture. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 9(15): 2933-2944 pp.
- CNDGMD-INEGI (2013). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones. México.
- Congreso de la Unión 2003. Ley General para la prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. México.
- Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos. (2004). Editorial Mc Graw Hill, México 2004.
- Congreso de la Unión. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada DOF 05-06-2018. México.
- Cronin, M.J., Yohalem D.S., Harris, R.F., Andrews, J.H. (1996). Putative mechanism and dynamics of inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* by compost extracts. *Soil biology and biochemistry*. 28(9): 1241-1249 pp.

- Cruz, J., Acevedo, P., Cruz, V., Baez, C. (2014). Pre- selección de fertilizantes orgánicos líquidos para la agricultura ecológica por baja fitotoxicidad. XI Congreso de SEAE: Agricultura ecológica familiar. Vitoria-Gasteiz (Àlava), octubre, 2014.
- Cruz, P.D. (2008). Evaluación del potencial forrajero del pasto maralfalfa *Pennisetum violaceum* con diferentes niveles de fertilización y fósforo con una base estándar de potasio. Tesis de grado. Facultad de ciencias pecuarias. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 58 p.
- Cruz, S.E.S. y Ojeda, S.B. (2013). Gestión sostenible de los Residuos Sólidos Urbanos. Revista internacional de contaminación ambiental, 29.
- Danon, M., Chen, Y., Hadar, Y. (2010). Ascomycete communities associated with suppression of *Sclerotium rolfsii* in compost. Fungal ecology 3(1): 20-30 pp.
- De la Cruz, R. R. A. (2005). Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de composteo y lombricomposteo, Departamento de Fitomejoramiento Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 14 p.
- De Sanzo, C.A. y Ravera, A.R., (2000). Como criar lombrices rojas californianas. 12 p.
- Dianéz, F., Santos, M., Boix, A., de Cara, M., Trillas, I., Avilés, M., Tello, J.C. (2006). Grape marc compost tea suppressiveness to plant pathogenic fungi: role of siderophores. Compost science and utilization. 14(1): 48-53 pp.
- Dianéz, F., Santos, M., Tello, J.C. (2007). Suppressive effects of grape marc compost on phytopathogenic oomycetes. Archives of phytopathology and plant protection 40(1): 1–18 pp.
- Díaz, L.F., Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., Stentiford, D. (2007). Compost science and technology. 1ª edición. Editorial Elsevier. Estados Unidos de América.
- Diver, S. (2001). Notes on Compost Teas: A 2001 Supplement to the ATTRA publication Compost Teas for Plant Disease Control. ATTRA publication, Fayetteville, Arkansas.

- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*. 28(1): 33-46 pp.
- Edwards, C.A., N.Q. Arancon, and S. Greytak. (2006). Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *Biocycle* 47: 28–31 pp.
- Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2024-2030 pp.
- Eghball, B. (2002). Soil properties as influenced by phosphorus and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron. J.* 94: 128-135 pp.
- Eghball, B., Ginting, D. y Gilley, J. E. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447 pp.
- Elías, X. (2009). *Reciclaje de Residuos industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*. 2da. Edición. Editorial Díaz de Santos. Madrid. 1-636 pp.
- El-Masry, M.H., Khalil, A.I., Hassouna, M.S., Ibrahim, H.A.H. (2002). *In situ* and *in vitro* suppressive effect of agricultural composts and their water extracts on some phytopathogenic fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 18(6): 551-558 pp.
- Esquer, V.R.A. (2009). *Reciclaje y tratamiento de los Residuos sólidos urbanos*. Tesis de licenciatura, Esc. Sup. de Ing. y Arq., IPN, México. 94 pp.
- Evans, K.J., A.K Palmer y D.A. Metcalf. (2012). Effect of aerated compost tea on grapevine powdery mildew, botrytis bunch rot and microbial abundance on leaves. *European Journal of Plant Pathology* 135: 661-673 pp.
- Félix-Herran, J.A., Sañudo-Torres, R.R., Rojo-Martinez, G.E., Martínez-Ruíz, R. y Olalde-Portugal, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra-Ximhai*. 4 (1): 57-67 pp.
- Fonnegra, G.R. y Jiménez, R.S. (2007). *Plantas medicinales aprobadas en Colombia*. 2ª. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín. 371 p.
- Fornaris, A. (2009). Influencia de dosis creciente de lixiviado de abonos mixtos microbianos y lixiviado humus de lombriz sobre algunas variables

morfoagronómicas en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*) Ciencia en su PC. Centro de Información y Gestión Tecnológica Cuba. 100-114 pp.

- Francescangeli, O., Sierra, A., Roberto, D. (2012). Extracto de compost como control de Mildiu Lanoso (*Peronospora belbahrii*) y suplemento nutricional en Albahaca Dulce (*Ocimum basilicum*). Ceiba: A Scientific and Technical Journal. Vol. 53 (1): 17-29 pp.
- Fritz, J.I., Franke-Whittle, I.H., Haindl, S., Insam, H., Braun, R. (2012). Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. Canadian journal of microbiology. 58(7): 836-847 pp.
- Gabriel J., Ortuño N., Vera M., Castro C., Narváez W., y Manobanda M. (2017). Manual para evaluación de daños de enfermedades en cultivos agrícolas. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador. 53 p.
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., Lores, M., & Domínguez, J. (2010). Papel de las lombrices de tierra en la degradación del bagazo de uva: efectos sobre las características químicas y la microflora en las primeras etapas del proceso. Acta Zoológica Mexicana. 2 (26): 397-408 pp.
- Gómez-Brandon, M., Vela, M., Martínez-Toledo, M.V., Insam, H., Domínguez, J. (2015). Effects of compost and vermicompost teas as organic fertilisers. En: Sinha S, Pant KK, Bajpai S. Advances in Fertiliser Technology: Synthesis (Vol. 1). Studium Press, LLC, USA. 300-318 pp.
- Gómez, J. (2000). Abonos orgánicos, compostaje, sustrato, humus líquido, lombricomposteo. Laboratorio Nacional de Insumos Agrícolas, ICA. Colombia. 215 p.
- González, S. K. D., Rodríguez, M. M. D., Trejo, T. L. I., Escudero, S. J. y García, C. J. L. (2013). Propiedades químicas de téis vermicompost. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 4 (5): 901-911 pp.

- González, S. K. D., Rodríguez, M. M. D., Trejo, T. L. I., Escudero, S. J. y García, C. J. L. (2013). Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema hidropónico. *Interciencia*. 38 (12): 863-869 pp.
- Gurama, A.U., Haruna, S.G., Adebitan, S.A. (2012). Characteristics and antifungal effect of composts on *Fusarium oxysporum* F. SP. *Lycopersici incitant* of *Fusarium* wilt of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of biodiversity and environmental sciences*. 2(7): 23-31 pp.
- Hadar, Y., Papadopoulou, K.K. (2012). Suppressive Composts: Microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants. *Annual Review of Phytopathology*. 50(1): 133-153 pp.
- Harish, S., Saravanakumar, D., Radjacommare, R., Ebenezar, E.G., Seetharaman, K. (2008). Use of plant extracts and biocontrol agents for the management of brown spot disease in rice. *BioControl*, 53(3): 555-567 pp.
- Hazir, S., Shapiro-Ilan, D.I., Bock, C.H. y Leite, L.G. (2017). Trans-cinnamic acid and *Xenorhabdus szentirmaii* metabolites synergize the potency of some comercial fungicides *Journal of Invertebrate Pathology* 145: 1–8 pp.
- Hernández, A., Hansen, A.M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27: 115–127 pp.
- Hoitink, H. A. J., Stone, A. G., and Han, D. Y. (1997). Suppression of plant diseases by composts. *HortScience* 32: 184-187 pp.
- Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Urban development series; knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC.
- Iglesias, J. E. y Pérez, G. V. (1989). Evaluation of city refuses compost maturity: A review. *Biol. Waste* 27: 115-142 pp.
- Industrias TECUMI. (2017). *Manual para instructores en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos*. Industrias TECUMI S.A. de C.V., Estado de México.

- Ingham, E.R. (2005). The compost tea brewing manual. Soil Foodweb Inc. USA. 1-68 pp.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 272 pp.
- INEGI (2017). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2012. Módulo 6 Residuos Sólidos Urbanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jabee, K. y Javid, A. (2008). Antifungal activity of aqueous and organic extracts of allelopathic trees against *Ascochyta rabiei*. *Allelopath. J.*, 22(1): 231-237 pp.
- Jayakumar, P. y Natarajan, S. (2013). Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost. *Applied soil ecology* 70: 33-47 pp.
- JICA/GDF (2004). Estudio sobre el manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos. Informe final, volumen 1. México: Agencia de Cooperación Internacional de Japón / Gobierno del Distrito Federal.
- Kavroulakis, N., Ntougias, S., Besi, M.I., Katsou, P., Damaskinou, A., Ehaliotis, C., Zervakis, G.I., Papadopoulou, K.K. (2010). Antagonistic bacteria of composted agro-industrial residues exhibit antibiosis against soil-borne fungal plant pathogens and protection of tomato plants from *Fusarium oxysporum f.sp. Radicis-lycopersici*. *Plant soil*. 333(1-2): 233-247 pp.
- Kiely, G. (1999). Tratamiento de Residuos Sólidos. En: García, A. (ed.). Ingeniería ambiental. McGraw- Hill Interamericana. España. 843-931 pp.
- Killeen, T. J., García, E. y Beck, S.G. (Eds.) (1993). Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia/Missouri Botanical Garden, La Paz. 868 p.
- Klonsky, K. y Tourte, L. (1998). Organic agricultural production in the United States: Debates and directions. *Am. J. Agric. Econ.* 80(5): 1119-1124 pp.

- Kosov, M., Hrdkov, I., Mtlov, V., Kadlec, D., Smidrkal, J. y Filip, V. (2015). Antimicrobial effect of 4- hydroxibenzoic acid ester with glycerol. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*. 40(4): 436-440 pp.
- Lara, C. (2011). Evaluación de diferentes abonos orgánicos (humus, humus líquido, vermicompost y casting) en la producción de forraje y semilla de *Stipa plumeris* (paja de páramo). Tesis de Grado. Escuela Superior Politcnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
- Lazcano, C., Sampedro, L., Zas, R., Domínguez, J. (2010). Vermicompost enhances germination of the maritime pine (*Pinus pinaster Ait.*). *New Forests*. 39(3): 387-400 pp.
- Leyva, R.L., Cruz, M.M., Acosta, S.M., Pichardo, T., Bermúdez, C.I, Alvarado, C.Y. (2017). Antagonismo in vitro de cepas de *Bacillus spp.* frente a *Fusarium oxysporum f. sp. cubense.*, *Bioteecnologa Vegetal*. 17(4): 229-236 pp.
- LGEEPA. Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2018).
- LGPGIR. Ley General para la prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2018).
- Marin, F., Dianéz, F., Santos, M., Carretero, F., Gea, F.J., Castañeda, C., Navarro, M.J., Yau, J.A. (2014). Control of *Phytophthora capsici* and *Phytophthora parasitica* on pepper (*Capsicum annuum* L.) with compost teas from different sources, and their effects on plant growth promotion. *Phytopathologia Mediterranea* 53(2): 216 – 228 pp.
- Mengesha, W.K., Powdell, S.M., Evans, K.J. y Barry, K.M. (2017). Diverse microbial communities in non-aerated teas suppress bacterial wilt. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 33(3): 33– 49 pp.
- Molina, R. E. (2002). Fertilización foliar de cultivos frutícolas. En: Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 82-100 pp.
- Moreno, J. y Moral, R. (2008). Compostaje. Ediciones Mundi – Prensa. 570 p.

- Moreno, J. y Mormeneo, S. (2008). Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. Compostaje. Ediciones Mundi – Prensa. 111-140 pp.
- Musumeci, S., Paoletti, M.G. (2009). Binomium Chitin-Chitinase. Recent issues. Nova Biomedical, USA.
- Naidu, Y., Meon, S., Kadir, J., Siddiqui, Y. (2010). Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea. International journal of agricultural and biology. 12(1): 51 – 56 pp.
- Naidu, Y., Meon, S., Siddiqui, Y. (2013). Foliar application of microbial-enriched compost tea enhances growth, yield and quality of muskmelon (*Cucumis melo L.*) cultivated under fertigation system. Scientia Horticulturae. 159: 33-40 pp.
- NMX-AA-008-SCFI-2000 Análisis de agua- Determinación del pH- Método de prueba. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/01/nmx-aa-008-scfi-2000.pdf>. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2019.
- NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de fosforo total en aguas naturales, residuales, y residuales tratadas- método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166773/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2019.
- NMX-AA-073-SCFI-2001 Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2019.
- NMX-AA-074-SCFI-2014 Análisis de agua- Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166149/nmx-aa-074-scfi-2014.pdf>. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2019.
- NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de aguas- Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales, y residuales tratadas- Método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166794/NMX-AA-079-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2019.

- NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos y de manejo especial. Fecha de consulta febrero de 2019.
- NMX-AA-180-SCFI-2018 Qué establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos y manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Fecha de consulta noviembre de 2018.
- Padilla, W. (2007). Fertilización de suelos y nutrición de suelos. Grupo Clínica Agrícola. Quito, Ecuador. 312 p.
- Pane, C., Celano, G., Vilecco, D. y Zaccardelli, M. (2012). Control of *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* and *Pyrenochaeta lycopersici* on tomato with whey compost-tea applications. *Crop Protection* 38: 80-86 pp.
- Ping, L., Boland, W. (2004). Signals from the underground: bacterial volátiles promote growth in *Arabidopsis*. *Trends in plant science*. 9(6): 263– 266 pp.
- Polavarapu, S. (2000). Evaluation of phytotoxicity of Diazinon and Captan formulations on highbush blueberries. *Horltechnology* 10(2): 308-314 pp.
- Ramírez, C. (1996). Efecto de las prácticas agrícolas sobre la microflora del suelo: oportunidades en la fitoprotección. *Memorias del X Congreso Nacional Agronómico*. Universidad de Costa Rica. 81-83 pp.
- Raoudha, K.B.J., Rabiaa, H., Mohamed, A.T., Jean-Jaques, G., Khaled, H., Mohamed, B.K., Belgacem, H. (2009). Composts, composts, extracts and bacterial suppressive action on *Pythium aphanidermatum* in tomato. *Pakistan Journal of Botany*. 41(1): 315 – 327 pp.
- Reínés, A. M. M., Rodríguez, C.A., Carrillo, O. F., Loza, A. Ll., y Contreras, S. H. R. (2006). *Nuevos avances en la biotecnología de la lombricultura*. Editorial Universitaria. Ciudad de La Habana, Cuba. 38 p.
- Rynk, R. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. NRAES Pub. 54.
- Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Favela, C. E., Figueroa, V. U., Álvarez, P. V., Palomo, G. A., Márquez, H., y Moreno, R. (2009). Vermicomposta como

alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura. 13 (2): 185-192 pp.

- Salisbury, F.B. (2000). Fisiología de las plantas. Editorial Thomson Learning. España.
- Scheinberg, A. y Wilson, D. y Rodic-Wiersma, L. (2010). Solid Waste Management in the World's Cities, ONU-HABITAT, U.K. 228 pp.
- Scheuerell, S.J., Mahaffee, W.F. (2006). Variability associated with suppression of gray mold (*Botrytis cinerea*) on geranium by foliar applications of non-aerated and aerated compost teas. Plant disease. 90(9): 1201-1208 pp.
- Scheuerell, S.J. (2003). Understanding how Compost Tea can control disease. Biocycle 44: 21-25 pp.
- SEDESOL (2012). Secretaría de Desarrollo Social. México.
- SEDESOL (2013). Secretaría de Desarrollo Social. México.
- SEMARNAT (2017). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT (2016). SNIARN. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. México.
- Serrato, C. y Landeros, F. (2001). Instructivo para análisis de suelos, propiedades físicas. México: Universidad Autónoma del Estado de México, laboratorio de suelos Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. 32 p.
- Siddiqui, Y., Meon, S., Ismail, R., Rahmani, M., Ali, A. (2008). Bio-efficiency of compost extracts on the wet rot incidence, morphological and physiological growth of okra *Abelmoschus esculentus* [(L.) Moench]. Scientia Horticulturae. 117: 9-14 pp.
- Siddiqui, Y., Sariah, M., Razi, I., (2008). Trichoderma-fortified compost extracts for the control of *Choanephora* wet rot in okra production. Crop Protection. 27: 385–390 pp.

- Siddiqui, Y., Meon, S., Ismai, R., Rahmani, M. (2009). Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L. the causal pathogen of wet rot of okra. *Biological Control* 49: 38-44 pp.
- Siddiqui, Y., Islam, T.M., Yuvarani, N., Sariah, M., (2011). The conjunctive use of compost tea and inorganic fertilizer on the growth, yield and terpenoid content of *Centella asiatica* (L.). *Urban. Scientia. Horticulturae*. 130: 289–295 pp.
- Soliva, T. M., López, M. M. y Huerta, P. O. (2018). Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno-Casco, J. y R. Moral H. (ed.). *Compostaje*. Mundi Prensa. Madrid, España. 75-93 pp.
- St. Martin, C., Dorinvil, W., Brathwaite, R., Ramsubhag, A. (2012). Effects and relationship of compost type, aeration and brewing time on compost tea properties, efficacy against *Pythium ultimum*, phytotoxicity and potential as a nutrient amendment for seedling production. *Biological Agriculture and Horticulture*. 28(3): .23 pp.
- Statgraphics Centurion, XVI. Statpoint Technologies. INC. version, 16, 17. 2013.
- Suquilanda, V. M. (1996). *Agricultura Orgánica: Alternativa tecnológica del futuro*. Ediciones UPS FUNDAGRO. Quito, Ecuador. 654 pp.
- Sztern, J. y Pravia, D. (2009). *Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Uruguay. 69 pp.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. A. (1993). *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. McGraw-Hill. Singapur. 978 pp.
- Téllez, M. V. (1999). *Abonos Orgánicos en uso. Los abonos Agroecológicos: Un camino al desarrollo rural*. Desmi A.C. San Cristobal de las Casas, Chiapas. 63 pp.
- Trinidad-Santos, A. (2008). *Abonos orgánicos*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). México, D.F. 8 pp.

- Vázquez V. P., García L. M. Z., Navarro C. M. C., y García H. D. (2015). Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) en invernadero. Revista Mexicana de Agronegocios. 36: 1351-1356 pp.
- Vizcarra- Hernández, I.F., Granados-Mayorga, A.K. Osnaya-Vargas, K.G., Álvarez-Orozco, R., Navejas-Jímenez, J., Mercado-Mancera, G. (2017). Efecto de la aplicación de lixiviados y composta en el crecimiento y rendimiento del girasol. Cartel en el XLI congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Westerveld, S. y Filotas. M. (2012). Downy Mildew of Basil - Organic Management Strategies. Ministry of Agriculture and Food. Ontario.
- Xu, D., Raza, W., Yu, G., Zhao, Q., Shen, Q., Huang, Q. (2012). Phytotoxicity analysis of extracts from compost and their ability to inhibit soil-borne pathogenic fungi and reduce root-knot nematodes. World journal of microbiology and biotechnology. 28(3): pp.1193-1201.
- Zaller, J. (2006). Foliar spraying of vermicompost extracts: Effects on fruit quality and indications of late blight suppression of field-grown tomatoes. Biological agriculture and horticulture. 24(2): pp.165-180.
- Zmora-Nahum, S., Danon, M., Hadar, Y., Chen, Y. (2008). Chemical properties of compost extract inhibitory to germination of *Sclerotium rolfsii*. Soil Biology and Biochemistry. 40: pp.2523- 2529.
- Zapata, R. (2005). Función de la materia orgánica sobre la movilidad iónica. Revista Suelos Ecuatoriales 35(1): pp. 23-35.

Páginas web

- <https://www.google.com.mx/maps/search/preparatoria+benito+juarez+garcia/@19.0183599,-98.2033892,673m/data=!3m2!1e3!4b1https://sites.google.com/site/residuos-solidosav/clasificaci>

- <https://24horaspuebla.com/2016/tendra-la-buap-bachillerato-en-san-jose-chiapa/>
- <http://www.nutrinsumos.com.mx/>
- <https://www.webconsultas.com/bienestar/plantas-medicinales/eucalipto>
- <https://ecocosas.com/agroecologia/?cn-reloaded=1>
- <https://www.oecd.org/acerca/>