



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

TESIS

RESIDUOS BIOLÓGICOS COMPOSTEADOS DE UNA GRANJA PORCÍCOLA EN
TEMASCALTEPEC, MÉXICO.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA:
JAVIER LOZA MEDINA

DIRECTOR DE TESIS:
M. en C. SHEREZADA ESPARZA JIMÉNEZ

ASESORES DE TESIS:
DR. GERMÁN GÓMEZ TENORIO
DR. JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ ARMIJO

TEMASCALTEPEC DE GONZÁLEZ, MÉXICO, DICIEMBRE, 2017.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de una composta elaborada a base de desechos biológicos de cerdo, en un periodo de 6 meses. Se tomó 1 kilogramo de muestra de composta de 6 piletas de cemento, cuyo manejo consistía en el llenado de las mismas, con residuos biológicos, resultado del proceso de producción de una granja porcina (placentas, lechones muertos, etc.) y aserrín, en capas proporcionales de 30:15 cm, respectivamente. Se obtuvieron mediciones de temperatura y pH de manera continua para verificar el proceso.

Con la finalidad de determinar el valor agronómico de dicha composta, se determinaron las propiedades físicas (textura, color, olor), químicas (pH, Contenido de Materia Orgánica (M.O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y conductividad eléctrica) y microbiológicas (presencia de *Salmonella enterica*, *Shigella sp.*, *Corinebacterium diphtheriae*, *Escherichia coli* y Coliformes totales) en el humus resultante.

Se determinó el efecto del uso de residuos biológicos en la descomposición y fermentación del proceso de composteo. La composta terminada presenta características físicas y químicas similares o más altas a la de una composta de residuos vegetales e incluso lombricomposta, reportadas en la literatura, lo cual da referencia de que puede ser utilizado como abono agrícola al no tener presencia de agentes bacterianos como *Salmonella sp.*, *Shigella sp.* y *E. Coli*.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas sus bendiciones, por darme el mejor regalo que es mi familia, por los amigos que he conocido ya que me han demostrado el verdadero valor de la amistad y por todas aquellas personas que has puesto en mi camino.

Al Centro Universitario UAEM Temascaltepec, por darme la oportunidad de alcanzar esta meta, por contribuir en mi formación académica y personal.

A la M. en C.A.R.N. Sherezada Esparza Jiménez, por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Gracias por su confianza y amistad.

A mis asesores, el Dr. Germán Gómez Tenorio, por brindarnos las facilidades de trabajar en su Granja y apoyarnos con sus conocimientos y al Dr. José Fernando Vázquez Armijo, por la asesoría y participación en el presente trabajo.

Y sobre todo gracias a mis maestros, por el apoyo y experiencia ofrecida de manera incondicional.

A mis compañeros de licenciatura.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO	1
ÍNDICE DE CUADROS	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. JUSTIFICACIÓN.....	7
III. OBJETIVOS	9
3.1. OBJETIVO GENERAL	9
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
IV. HIPÓTESIS	10
V. REVISIÓN DE LITERATURA	11
5.1. Los residuos	14
5.2. Residuos pecuarios	18
5.2.1. Opciones de manejo para lodos y estiércoles sólidos	21
5.2.2. Aplicación al suelo.....	22
5.2.3. Almacenamiento	23
5.2.4. Separación de sólidos y líquidos	23
5.2.4.1. Sistemas de tratamiento basados en suelos.....	24
5.2.5. Composta.....	25
5.2.5.1. Fases del compostaje.....	26

5.2.5.2.	Principales factores que participan en el compostaje.....	27
5.2.6.	Tratamiento aeróbico-biológico de desechos líquidos.....	34
5.2.6.1.	Beneficios esperados de la aireación	35
5.2.7.	Digestión anaeróbica	35
5.2.7.1.	Beneficios esperados de la digestión anaeróbica.....	36
5.2.8.	Vermicultura	36
VI.	MATERIAL Y MÉTODO	38
6.1.	Área de estudio	38
6.2.	Área experimental.....	39
6.2.1.	Parámetros de productividad.....	40
6.2.2.	Condiciones de manejo.....	41
6.2.3.	Manejo del material biológico (residuos).....	41
6.2.4.	Muestreo	44
6.2.5.	Análisis físicos	45
6.2.6.	Análisis químicos	46
6.2.7.	Análisis microbiológicos	47
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
7.1.	Parámetros físicos.....	49
7.2.	Parámetros químicos	52
7.3.	Parámetros microbiológicos	55
VIII.	CONCLUSIONES	58
IX.	RECOMENDACIONES	59
X.	LITERATURA CITADA	60
XI.	ANEXO 1.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Generación de residuos por diferentes actividades o industrias.....	24
Cuadro 2. Relación de C/N de algunos residuos (Base seca)	33
Cuadro 3. Muerte de algunos organismos microscópicos en función de la temperatura y el tiempo de exposición.....	34
Cuadro 4. Parámetros de control de estabilidad de la composta.....	36
Cuadro 5. Parámetros de productividad de la "Granja Las Pulgas.....	43
Cuadro 6. Parámetros físicos de la composta de residuos biológicos terminada.....	52
Cuadro 7. Contenido de Materia Seca y Materia Orgánica de la composta de residuos biológicos.....	55
Cuadro 8. Contenido de minerales de la composta.....	55
Cuadro 9. Relación Carbono Nitrógeno de la composta (Base seca).....	56
Cuadro 10. Características químicas de la composta de residuos biológicos.....	57
Cuadro 11. Contenido microbiológico de la composta de residuos biológicos.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la comunidad de Telpintla, Temascaltepec, Estado de México	41
Figura 2. Piletas de cemento para depósito de residuos biológicos, Granja Las Pulgas	45
Figuras 3 y 4. Manejo de residuos en la Granja Las Pulgas, Temascaltepec, Estado de México	47
Figura 5. Material biológico a los 3 meses de composteo	48
Figura 6. Material biológico a los 6 meses de composteo	48
Figura 7. Representación del comportamiento promedio de las temperaturas durante el proceso de compostaje	54

I. INTRODUCCIÓN

El compostaje es un proceso microbiológico que se usa para estabilizar cualquier residuo orgánico. Todo lo orgánico es susceptible de ser composteado. En granjas o cualquier instalación agrícola, se suele producir un gran volumen de estos residuos, por ejemplo, los restos vegetales de cultivos (paja, cereal, etc.), estiércoles o incluso los propios animales una vez que han muerto (Berge *et al.*, 2011).

En la actualidad y debido a los problemas de higiene que pueden causar, el tratamiento de los cuerpos muertos de los animales de granja está muy controlado. Existen varias alternativas para los cadáveres como la incineración, el enterramiento e incluso el compostaje. Después de los grandes problemas producidos por enfermedades como la de "las vacas locas" o "la gripe aviar", donde hubo un enorme número de cadáveres de animales que eliminar, esta última puede ser una de las mejores y más viables económicamente. Es imprescindible que se haga un compostaje bien hecho, rápido, y con altas temperaturas termófilas, de lo contrario, el problema higiénico puede ser importante.

La conversión en compost de los residuos orgánicos, es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite obtener un fertilizante de manera racional, económica y segura, a partir de diferentes residuos, con el fin de conservar y aprovechar los nutrientes presentes en los mismos. La aplicación del compost sin tratar o tratado inadecuadamente, representa un peligro para el ambiente y para la salud pública, debido al movimiento y supervivencia en el suelo de bacterias patógenas presentes en estos biofertilizantes, tales como: *Salmonella* entérica, *Shigella* sp., *Corinebacterium diphtheriae*, *Escherichia coli* y Coliformes totales.

El objetivo del presente trabajo, consiste en analizar los parámetros físico- químicos

y microbiológicos de una composta procedente de una granja de cerdos, realizada a base de residuos biológicos (cadáveres de cerdos, lechones y placentas, etc.), sometida a un proceso de compostaje con aserrín durante un periodo de 6 meses.

II. JUSTIFICACIÓN

Los animales muertos que se generan en las granjas, constituyen una fuente potencial de contaminación microbiológica y ambiental, ya que la eliminación de los cadáveres, en muchos casos, no se realiza en forma adecuada, posiblemente porque se desconocen las alternativas prácticas y útiles para obtener un producto terminado que represente un ingreso al reciclarlo.

Algunos productores de granjas porcícolas o avícolas, arrojan animales muertos en lugares inadecuados, como terrenos no cultivados o a las orillas de los caminos, esto origina "basureros orgánicos" sin control, que representa una peligrosa fuente de infección y de contaminación ambiental. Otros productores queman los cadáveres en hornos, método que tiende a usarse cada vez menos, debido a los malos olores que ocasiona, además de no estar legalmente reglamentados en la actualidad, es ineficiente y el costo por mantenimiento es elevado.

Existen otras alternativas para el destino final de los animales muertos: la transformación en harinas (por ejemplo: las aves), el ensilado de cadáveres y la elaboración de la composta.

La composta se obtiene mediante un proceso natural de biodegradación, en el cual, la acción de microorganismos aeróbicos, termófilos, Gram positivos, bacilos esporulados benéficos (por ejemplo: *Bacillos spp.*), reducen y transforman los desechos orgánicos en una biomasa bacteriana ácida.

La elaboración de composta de cadáveres de cerdo que se pretende analizar, está basada en la mezcla de residuos biológicos (lechones no nacidos vivos, placentas

resultantes del parto, animales adultos muertos) y aserrín, todo colocado en pilas de cemento. Las bacterias degradan los cadáveres y material biológico de los cerdos, utilizando los carbohidratos del aserrín como sustrato o nutrimento. El procedimiento de fermentación láctica preserva y recupera los nutrimentos de los cerdos muertos. Es una adaptación del método de conservación de alimentos e involucra el uso de bacterias ácido lácticas, que convierten los azúcares en ácidos orgánicos, los cuales preservan los nutrimentos. El producto resultante es humus, que permite recuperar y reciclar los nutrientes obtenidos para la mejora de suelos agrícolas.

En la actualidad, uno de los principalmente afectados por diversos problemas ambientales de origen antrópico, es el suelo, seguido del agua y la atmósfera. Tales problemáticas no solo impactan el hábitat natural, sino que tienen consecuencias para los seres humanos en el corto y largo plazo.

El poder contribuir a que las Unidades de producción tengan alternativas para dar manejo y destino a los residuos orgánicos provenientes de sus procesos productivos, da la posibilidad de minimizar el daño ambiental por este concepto. No obstante, el buen manejo de los residuos orgánicos de una Unidad de producción, brinda de manera económica abono de buena calidad para el suelo, por ello la importancia del análisis de este proceso.

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

-Determinar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de una composta a base de desechos biológicos de cerdo.

-Determinar el valor agronómico de dicho compost.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas (textura, color, olor).
- Determinar las propiedades químicas (pH, Contenido de Materia Orgánica (M.O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y conductividad eléctrica).
- Determinar las características microbiológicas (presencia de *Salmonella enterica*, *Shigella sp.*, *Escherichia coli* y Coliformes totales) en el humus resultante.

IV. HIPÓTESIS

La composta proveniente de la descomposición de residuos biológicos (cadáveres de cerdos, placentas, lechones nacidos muertos, etc.), representa una opción para la fertilización de suelos agrícolas, debido a sus características físicas, químicas y microbiológicas.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

México es un país que necesita utilizar el potencial productivo que posee, pero que, al mismo tiempo debe enfrentar desafíos que exigen resolver problemas estructurales, entre los que destacan: la pobreza de la mitad de su población, la desigualdad, el bajo dinamismo de la producción agropecuaria, la dependencia del régimen de lluvias en parte significativa del área sembrada, la necesidad de lograr un adecuado manejo ambiental, entre otros (Desarrollo Rural, 2007).

Enfrentar esos desafíos implica, por un lado, la inclusión real y efectiva de los denominados “pequeños productores”, en las políticas y programas; por otro, la promoción y aplicación de todo lo que se refiere a la agricultura sostenible, aplicar estrategias distintas a las que ha usado la agricultura convencional (Altieri, 2011; Romero Paredes, 2013).

A lo largo de la historia de la Agricultura, para tener buenas cosechas, el ser humano ha aplicado toda clase de materia orgánica (MO) a los suelos cultivados. Sin embargo, esta práctica ha ido perdiendo su importancia por efecto de la revolución agrícola promovida desde fines del siglo XIX. Los aportes orgánicos fueron sustituidos por fertilizantes minerales (Rodríguez y Córdova, 2006). Esta práctica ha generado la ruptura del frágil equilibrio de los suelos agrícolas y ha desembocado en una pérdida paulatina de su calidad biológica y consecuentemente en bajos rendimientos de cosecha. En la actualidad, este se aplica mayormente en la agricultura intensiva y a gran escala, cuya práctica generalmente conlleva la reducción de los niveles de MO en el suelo, con las consecuencias ya señaladas (Navarro *et al.*, 1995 y Lemus, 2015).

Por lo anterior, de acuerdo a Soto, G. y Muñoz, C. 2002, y Del Val 2009, la aplicación de MO en un modelo de agricultura sostenible, se hace cada vez más necesaria, dado que dicho modelo englobaría y daría una solución integrada a la problemática, como: la disminución de la fertilidad de los suelos, el efecto de su degradación y contaminación por una errónea práctica agrícola, caracterizada por el uso excesivo de agroquímicos y productos fitosanitarios, entre otros (O’Ryan-Herrera, *et al.*, 2007).

En efecto, las actividades de la moderna sociedad de consumo, el crecimiento demográfico y el incremento de las industrias, han generado un incremento de la producción de residuos, de forma exponencial en las últimas décadas, siendo los de naturaleza orgánica o biodegradable los más importantes. Por diversas razones, la composta orgánica, que es de interés para este trabajo, ha sido escasamente manejada adecuadamente para ser convertida en abono orgánico. Según Green Peace, (2010), en los recientes años, a pesar de que con frecuencia se ha insistido en un manejo apropiado de esta composta, más en las ciudades que en el campo, la respuesta ha sido aún débil. También mencionan que la falta de manejo apropiado de los residuos sólidos orgánicos (RSO), ha generado contaminación de los suelos, agua superficial y subterránea, el aire y en general al ambiente en que vivimos.

Para el caso de México, según la Subsecretaría de Desarrollo Urbano (SDU), en el año 2006, las ciudades del país producían cerca de 96, 000 toneladas por día de desechos, el cual equivalía a 35 millones de toneladas al año. Dicho organismo para 2010, estimó una producción de 39.1 millones de toneladas de basura. De este total aproximadamente 50 % eran desechos orgánicos que tienen potencial para ser manejados y reciclados mediante procedimientos biológicos, para obtener abono orgánico y biogás (Velasco, J. 2012). En cuanto a los residuos de las áreas rurales,

no se cuenta con información sobre el volumen de generación, sin embargo, al igual que los de las ciudades, los RSO, no son manejados apropiadamente. Si bien, en ciertos casos, los estiércoles son aplicados directamente a los suelos, sin previo procesamiento de biodegradación, el aprovechamiento por las plantas es tardío y en muchos casos, genera problemas de fitosanidad (Capistrán, Aranda y Romero, 2001). Por un lado, nos encontramos con el enorme déficit de MO del suelo, y por otro, el incorrecto tratamiento o simple abandono de estos residuos, que ocasiona graves daños al medio ambiente, contribuyendo considerablemente con el otro gran problema ecológico: la contaminación del agua dulce, así como el incremento en los costos de tratamiento (vertederos controlados, incineración).

Sobre el tratamiento de los RSO, Acurio *et al.* (1997), basado en un diagnóstico realizado de los países de América Latina y El Caribe, señala que dicha región enfrenta serios problemas. El estudio identificó diversos aspectos críticos agrupados bajo seis categorías: 1) institucional y legal; 2) técnica y operativa; 3) económico- financiera; 4) salud; 5) ambiente; y 6) social y comunitaria. Sin duda, el desafío es enorme y requiere un tratamiento integral, bajo un enfoque distinto a lo que se ha venido aplicando; ahora debe emplearse un enfoque que tenga de base la participación ciudadana y las acciones se realicen, en pequeña y mediana escala, a nivel del hogar, las escuelas, los barrios, colonias y unidades habitacionales, contrario a lo que se ha intentado manejar a gran escala y en grandes volúmenes, con resultados desastrosos de contaminación ambiental (Quispe, 2010).

Si bien, ya hay avances importantes sobre los procesos biológicos para lograr un producto útil, como es la composta, con características muy importantes para mejorar el suelo (Lesur, 1998; Quintero *et al.*, 2003), es todavía insuficiente en cuanto

a la tecnología, infraestructura y aspectos sociales, como la participación ciudadana, para la gestión apropiada de los RSO de las ciudades y áreas rurales.

Sobre este último, Pastor 2004, señala que para resolver los problemas que aquejan a la sociedad, las acciones deben realizarse con la participación de la gente, en un ambiente de responsabilidad compartida y solidaria, desde lo local. El mismo autor recalca que la participación se encuentra profundamente vinculada con el desarrollo humano sostenible y social, siendo una de las claves en las que se sustentan las políticas sociales vinculadas con la integración social, por lo que contribuir al desarrollo humano en el siglo XXI, significa ampliar las alternativas de las personas para que puedan tener un nivel de vida que aprecien, siendo necesario para ello desarrollar las capacidades humanas, entre las cuales destaca la participación. (Chiras, Daniel D, 1994).

5.1. Los residuos

Se entiende por residuo cualquier producto en estado sólido, líquido o gaseoso procedente de un proceso de extracción, transformación o utilización por un individuo.

En México, se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93 % y se disponen en sitios de disposición final 78.54 %, reciclando únicamente el 9.63 % de los residuos generados, SEMARNAT, 2013.

En el país, sigue predominando el manejo básico de los RSO que consiste en recolectar y disponer los residuos en rellenos sanitarios, desaprovechando aquellos residuos que son susceptibles a reincorporarse al sistema productivo, lo que

disminuiría la demanda y explotación de nuevos recursos, a diferencia de países como Suiza, Países Bajos, Alemania, Bélgica, Suecia, Austria y Dinamarca; donde la disposición final de los residuos es de menos del 5 % en rellenos sanitarios (Seoánez Calvo- Mariano, 2000).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), establece que los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos (RSU), que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final. La realidad de los municipios es que se enfrentan a diversas circunstancias que en muchos casos se escapan de sus capacidades técnicas y financieras, debido a la dificultad de contar con personal capacitado, de adquirir o comprometer recursos financieros que den certeza a las inversiones del sector privado y por el corto tiempo de las administraciones municipales, lo que conlleva a la ruptura de la curva de aprendizaje y por ende a una falta de continuidad en las acciones y proyectos que garanticen una gestión integral de los residuos sólidos urbanos (Selener, D. 1997).

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), promueve, a través de planes, programas y del marco regulatorio, que el manejo de los residuos tanto sólidos urbanos y de manejo especial se realice bajo esquemas de gestión integral, que incluyen la prevención y reducción de su generación, su valorización económica y su disposición de manera adecuada.

Por tal motivo, se considera que en los Residuos de Manejo Especial (RME), es donde se puede trabajar a la par con los sectores productivos, sobre todo pequeños productores, para la disminución de esta porción de residuos que se suma a la

contaminación ambiental. Es importante destacar que la responsabilidad de un residuo es de quien lo genera. Sin embargo, el artículo 9 de la LGPGIR establece que es facultad de las Entidades Federativas autorizar el manejo integral de Residuos de Manejo Especial (RME), e identificar los que dentro de su territorio puedan estar sujetos a planes de manejo, misma que los define como 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 RSU. Entre ellos se encuentran aparatos electrodomésticos, electrónicos, vehículos automotores al final de su vida útil, por mencionar los más comunes. Sin embargo, al ser resultantes de un proceso productivo, los RME también se consideran los cadáveres de animales o partes de ellos, residuos de procesos biológicos.

La LGPGIR establece en el artículo 7 fracción V que son facultades de la federación expedir las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establezcan los criterios para determinar qué residuos estarán sujetos a planes de manejo, que incluyan los listados de éstos, y que especifiquen los procedimientos a seguir en el establecimiento de dichos planes. La SEMARNAT publicó la NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

El artículo 19 de la LGPGIR, establece diez categorías definidas de RME y la NOM-161-SEMARNAT-2011, en su anexo normativo presenta un listado de los RME sujetos a Plan de Manejo (Anexo 1).

La Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos establece que "un residuo es cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anexo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse. También asegura que algunos de los Residuos de Manejo Especial pueden recuperarse, ya sea como materia prima para procesos de manufactura o aprovechamiento energético, sin embargo, en la actualidad, sólo un pequeño porcentaje de los mismos se recupera y aprovecha.

Los residuos pueden clasificarse de diversos modos:

1. Según su estado físico se dividen en:

- Sólidos.
- Líquidos.
- Gaseosos.

2. Según su procedencia se dividen en:

- Industriales.
- Agrícolas.
- Sanitarios.
- Residuos sólidos urbanos.

3. Por su peligrosidad se clasifican en:

- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Radioactivos.
- Inertes.

Por último, en cuanto al marco legal según la Ley de Residuos, se distinguen dos categorías:

- Residuos urbanos.

- Residuos peligrosos.
 - Los residuos peligrosos son todos aquellos que contienen en su composición una o varias sustancias que les confieren características peligrosas, en cantidades o concentraciones, que representen un riesgo para la salud humana, los recursos naturales o el medio ambiente (SEMARNAT, 2011).

Toda actividad humana es susceptible potencialmente de producir residuos. Por su importancia en el volumen total destacan los residuos agrícolas, después los producidos por las actividades mineras, los derivados de la industria, los residuos urbanos y en último lugar los derivados de la producción de energía.

Cabe mencionar, que los residuos derivados de actividades agropecuarias, constituyen la fracción mayoritaria del total, pero los producidos por la minería, la industria y la producción de energía, son los que tienen un mayor impacto potencial en el ambiente.

La proporción de cada tipo de residuo, depende de la estructura económica de los países, en general, se observa una tendencia que corresponde a un aumento en el peso en conjunto de los residuos industriales y urbanos, en función de un grado de desarrollo a un mayor. (Seoáñez Calvo, Mariano, 2000).

5.2. Residuos pecuarios

El manejo inadecuado y la eliminación de los desechos pecuarios son la causa de muchas de las incidencias de contaminación registradas cada año.

Los problemas potenciales varían entre cada región, según los factores locales. El problema de malos olores, por ejemplo, es más significativo en áreas donde la agricultura intensiva está cerca de zonas densamente pobladas o turísticas. Los problemas de escurrimiento representan un riesgo más serio en áreas accidentadas; y las preocupaciones acerca de excesos de nutrientes son más grandes en regiones donde las fuentes de agua potable son particularmente vulnerables. En términos generales, las comunidades con poblaciones altas de animales corren mayor riesgo, y las granjas en dichos lugares enfrentan las presiones más fuertes para prevenir la contaminación. En la mayoría de los casos, estos problemas podrían ser evitados mediante la selección cuidadosa y la aplicación de mejores tecnologías y prácticas de manejo (SEMARNAT, 2011).

Debido a la gran diversidad de sistemas de producción pecuaria en México, no existen técnicas sobre el manejo de desechos que puedan aplicarse universalmente. No obstante, hay varias opciones que nos permiten recomendar un enfoque sistemático para la selección de estrategias apropiadas bajo distintas condiciones. Por lo general, este enfoque puede ayudar al productor a lograr los beneficios más grandes a un costo mínimo. Es más, en muchas instancias, los costos del manejo de desechos pueden ser reducidos por la conversión de desechos en productos útiles, tales como fertilizante orgánico o energía.

En cualquier sistema utilizado para manejar los desechos pecuarios, es importante considerar qué sucede con el material manejado. Desde una perspectiva ambiental, las propiedades más importantes de dichos materiales incluyen: su capacidad de reducir el oxígeno de una corriente de agua (Demanda Biológica de Oxígeno-DBO); el contenido de nutrientes de plantas (nitrógeno, fósforo y potasio), y otros

componentes tales como metales pesados, olores y patógenos. La eliminación de desechos a un área insuficiente resultará en la absorción de estos componentes en el ambiente (aire, agua y suelo) a tal extremo que los excedentes causarán contaminación. Un balance preciso puede ser realizado en el caso de elementos como nitrógeno: la parte contenida en el abono aplicado a un cultivo será utilizada en el crecimiento de las plantas; acumulada en el suelo (a corto plazo) o perdida por medio de emisiones a la atmósfera (por ejemplo, amoníaco, óxido nitroso o N_2 gas) o a agua superficial o subterránea (como la lixiviación de nitrógeno) (Rodríguez, et al., 2000).

En gran parte, este balance de materiales (sobre todo los nutrientes) determinará la estrategia de manejo de los desechos que puede ser empleada. Donde no existe un excedente de nutrientes, el problema principal es emplearlo eficientemente para la producción de cultivos sin provocar contaminación, y sin ser un peligro para la salud humana o animal como resultado de patógenos que podrían estar en el estiércol. Sin embargo, si existe un excedente de nutrientes, hacen falta otros enfoques que permitan también eliminar el riesgo potencial al ambiente local (Rivero et al., 2001).

Con base a lo anterior, podemos hacer notar que todos los sectores productivos generan residuos propios de su sistema, que en algunos casos tienen alguna aplicación, sin embargo, en la mayoría de los casos esta aplicación no existe, por lo que, en el cuadro 1 se presentan algunos ejemplos de residuos y su aprovechamiento potencial.

Cuadro 1. Generación de residuos por diferentes actividades o industrias.

Actividad generadora	Materiales de desperdicio	Usos del o los desperdicios
Agropecuaria	Origen vegetal: restos de cosechas, cultivos, tallos, fibras, cutículas, cáscaras, bagazos, rastrojos, restos de podas y frutos.	Compostas, reciclado natural en el suelo.
	Origen animal: excretas sólidas y semisólidas, líquidos purines, desechos de matanza, cadáveres, sobrantes de suero y leche.	Los residuos animales como complemento en compostas.
Industria frigorífica (rastros) y Láctea	Excretas, pieles, cuernos, vísceras, CR, pelos, plumas, sangre y huesos. Derivados del suero de manteca y quesería	Alimento animal, productos químicos, harina de sangre, producción de cárnicos (vísceras), o harinas (hígado y carnes), silo de vísceras de sangre y CR (SVC). Alimentación animal directa o como complemento de raciones. Se propone la producción de composta
Industria cerealera	Pajas, rastrojos y cáscaras.	Alimento para consumo humano o forrajes para animales.

Fuente: L. A. Uicab- Brito, C. A Sandoval Castro, 2003.

5.2.1. Opciones de manejo para lodos y estiércoles sólidos

Respecto de los desechos pecuarios, el problema que se enfrenta no es sencillo, los productores o sus asesores tienen varias opciones a su disposición. En general, un incremento en la inversión podría conducir de una estrategia de eliminación, con un

costo mínimo, a la fabricación de productos potencialmente vendibles (Medina, 2009).

5.2.2. Aplicación al suelo

Una opción es la aplicación de lodos sin tratamiento a pastizales o áreas arables que es muy atractiva para los productores. Se recomienda excepto donde existe un sobrante de nutrientes o donde el volumen de aplicación sea tan grande que genere un riesgo de contaminación de agua por medio de escurrimiento o percolación por el suelo. Si la granja se encuentra adyacente a una zona poblada, habrá que tomar medidas para controlar los olores durante la aplicación. Se aconseja a los productores monitorear cuidadosamente sus propias operaciones de aplicación para revisar si hay algún escurrimiento. Sin embargo, y como guía aproximada, la tasa de aplicación máxima en una operación no debería exceder 50 metros cúbicos por hectárea (es decir, una profundidad de 5 mm) y con un mínimo de tres semanas entre aplicaciones sucesivas. Tampoco se recomienda la aplicación bajo condiciones de suelo congelado o anegado.

El escurrimiento y percolación no son los únicos riesgos ambientales asociados a la aplicación a la tierra. Las emisiones de amoníaco a la atmósfera también pueden constituir un problema. En muchas partes del mundo el empleo de inyectoras, aspersores de baja trayectoria y aspersores en franjas, son cada vez más comunes. Podrían ser combinadas con pipas de tracción motriz, aspersores móviles y sistemas de aspersión umbilicales. En casi todos los casos, los sistemas dependen del operador para asegurar una tasa uniforme de aplicación, y en algunos lugares se están introduciendo sistemas más sofisticados para reducir el error debido al

operador. Dichos sistemas suelen ser operados por contratistas o grupos de productores para compartir costos (Velasco, 2012).

5.2.3. Almacenamiento

Aun cuando exista un excedente de nutrientes, deben tener atención cuidadosa al tiempo de sus aplicaciones de lodos o estiércol sólido, para que los nutrientes estén disponibles para los cultivos en el momento indicado. Al mismo tiempo, se puede reducir el problema de malos olores por medio de la selección cuidadosa del lugar, hora y las condiciones del tiempo para la aplicación. Las facilidades adecuadas para almacenar dan mayor flexibilidad para la aplicación de prácticas cautelosas de manejo.

Hay muchos tipos y diseños de tanques de almacenamiento de lodos; por ejemplo, lagunas de suelo forradas con caucho, plástico o arcilla; y tanques sobre el suelo de paneles de acero u hormigón acoplados con pernos, y sobre bases de hormigón. Un objetivo muy importante tiene que ser la prevención de derrames o filtraciones, por lo tanto, es mejor evitar la introducción de agua limpia en semejantes estructuras, para reducir el volumen de almacenamiento (Seoáñez, 2000).

5.2.4. Separación de sólidos y líquidos

En situaciones en las que los sistemas sencillos de almacenamiento y esparcimiento no resuelvan todos los problemas de manejo de desechos, quizá sea necesario tomar otras medidas, como la separación de sólidos y líquidos. Los beneficios son los siguientes:

- La mayoría de los sólidos separados están suficientemente secos para amontonarlos, mientras que el líquido separado puede manejarse como cualquier fluido. Incluso puede ser esparcido, por medio de aspersores de riego, y a tasas de aplicación más fácilmente controladas como ocurre con los lodos crudos.
- La cantidad y la DBO del líquido restante son reducidos.
- El líquido tiene menos tendencia de escurrirse, y es absorbido más rápidamente por el suelo.
- Es más fácil tratar el líquido separado que el lodo no separado, para reducir su potencial de contaminar.

Existen diversos tipos de máquinas de separación de lodos, varían desde tamices perforados e inclinados, hasta prensas de banda y centrífugas que son capaces de rendir fibra a 25 por ciento de sólidos totales (ST). El rendimiento de separadoras depende fuertemente de la concentración del lodo crudo. Con efluentes diluidos (por ejemplo, 1-2 por ciento ST) algunas separadoras pueden procesar más que 30 m³/h, a pesar de que 3 a 5 m³/h es más típico con lodos "normales" de porcinos de hasta 8 por ciento de ST (Seoáñez, 2000).

5.2.4.1. Sistemas de tratamiento basados en suelos

Una investigación reciente en Europa demostró que algunos desechos líquidos de ganado pueden ser tratados efectivamente con el empleo de filtros biológicos basados en el suelo. Hay dos tipos básicos:

- Sistemas de flujo percolador (empleando suelos permeables como franco arenoso); y
- Sistemas de flujo sobre la tierra (empleando un suelo impermeable como arcilla).

Ambos tipos tienen que construirse para que el suelo en el filtro sea aislado del suelo alrededor (por ejemplo, con el uso de una lona de caucho butilo). En operación, el líquido que debe tratarse se introduce en la parte más alta del filtro, y se recolecta en la parte más baja. De acuerdo con la concentración inicial del líquido y la efectividad del filtro, podría ser necesario reciclar una proporción del líquido para que reciba más tratamiento, o agregar otra etapa de tratamiento aguas abajo. Sistemas de este tipo han sido capaces de reducir el DBO en más de 90 por ciento.

5.2.5. Composta

Se define así al conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, mediante los cuales el hombre promueve y maneja la descomposición de los residuos orgánicos para convertirlos en constituyentes naturales de los suelos (Mendoza, 2008).

Durante el proceso de compostaje, la materia orgánica es degradada hasta un humus con excelentes propiedades para el suelo, este se caracteriza por tener un pH de 6.5 a 8, que favorece el crecimiento saludable de las plantas y tiene la capacidad de retención de agua. La composta se puede obtener mediante la descomposición de la materia orgánica en condiciones aerobias y anaerobias. La primera es más utilizada que la segunda, debido a que esta última genera olores desagradables y requiere infraestructura y conocimientos técnicos especializados; se lleva a cabo en contenedores sellados, que permiten la recuperación y uso del biogás que se genera en el proceso de descomposición de los residuos. Por el contrario, el compostaje en condiciones aeróbicas registra un incremento espontáneo en la temperatura que favorece la descomposición de la materia orgánica, elimina microorganismos patógenos y no libera gas (Morín 2012).

5.2.5.1. *Fases del compostaje*

Es posible interpretar el compostaje como la sumatoria de procesos metabólicos complejos, realizados por parte de diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. **Fase mesófila:** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45 °C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, producen ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). esta fase dura pocos días (entre 2 y 8 días).
2. **Fase termófila o de higienización:** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos), son reemplazados por aquellos que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan

transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización, ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal, como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*

3. **Fase de enfriamiento o mesofila II:** Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.
4. **Fase de maduración:** Es un periodo que tarda meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román et al., 2013).

5.2.5.2. Principales factores que participan en el compostaje

Microorganismos: la conversión de la materia orgánica cruda biodegradable en materia orgánica humificada es un proceso microbiológico, llevado a cabo por microorganismos: bacterias, hongos y actinomicetos (Díaz, 2002).

Humedad: es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55 %, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45 %, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60 %) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45 % al 60 % de agua en peso de material base (Román, 2013).

Aireación: en el proceso de composteo, el oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, ligado a la oxidación de moléculas orgánicas presentes en el material por descomponer. Por ello, generalmente se requiere incrementar la aireación por medio de volteos periódicos de las pilas; con estas acciones, además de suministrarse oxígeno, se disipa el calor producido dentro de la pila. Para determinar algunos intervalos en días, óptimos para realizar los volteos se consideran factores como la temperatura y la humedad; así han sugerido algunas recomendaciones como la de realizar el primer volteo a los 22 días y posteriormente cada 7 o cada 15 días; sin embargo, en la práctica, esta actividad se realiza cuando la temperatura es cercana a los 70 °C o la humedad es mayor de 60 % (Torres, 2008).

Temperatura: la actividad microbiana produce un incremento en la temperatura, esta fase se llama termófila que es donde ocurre una descomposición rápida de la

materia orgánica. La temperatura óptima que debe alcanzar con la descomposición termófila es de 50 °C a 60 °C, considerando la producción de bióxido de carbono, en algunas ocasiones la fermentación por la actividad microbiana puede alcanzar 76 °C, situación no deseable, debido que a temperaturas de 64 °C la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco es alta. Durante los primeros días, la temperatura se eleva de 60 a 70 °C, posteriormente se estabiliza a 40 °C o 50 °C; para sanear el material de la composta se requiere una temperatura de 60 a 65 °C, durante 2 o 3 semanas. Si la temperatura no aumenta, indica que hay un defecto en la aireación, baja relación de C/N o un bajo nivel de humedad (Mendoza, 2008).

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): el carbono (C) es una fuente importante de energía para los microorganismos y el nitrógeno (N) es necesario para la síntesis proteica (Ndegwa y Thompson, 2000). La relación adecuada de estos, favorece el crecimiento y la reproducción de los microorganismos en el proceso. Sztern y Pravia (2001), coinciden que una relación C/N óptima inicial de material a compostear es de 25; sin embargo, la mayoría de los autores mencionan que esta puede situarse en un rango de 20 a 30. Por lo tanto, si la relación C/N es 10, el N será mayor, contrariamente, si la relación es de 40 el material tendrá más carbono, entonces la biodegradación de material a compostear requerirá un mayor número de generaciones de microorganismos y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 13-15 que es apropiada para su uso agronómico. Por otra parte, si la relación es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno (Marchoil *et al.*, 2009).

Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada, en contraparte con los de origen animal que la relación es relativamente baja

(Cuadro 2). Cuando se dispone a compostear estos residuos en la mayoría de los casos se realizan mezclas con otros materiales para lograr una relación de C/N apropiada. El proceso es conocido como Balance de Nutrientes, en donde por lo general se utilizan medidas volumétricas (m³) (Golueke y Díaz, 1990; Sztern y Pravia, 2001).

Cuadro 2. Relación de C/N de algunos residuos (Base seca).

Materiales	C%	N%	C/N
Aserrines	40	0.1	400
Podas, tallos, maíz	45	0.3	150
Paja de caña	40	0.5	80
Hojas de árboles	40	1	40
Estiércol de equino	15	0.5	30
Estiércol ovino	16	0.8	20
Heno	40	2	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol porcino	8	0.7	12
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Fuente: L.A. Uicab-Brito, C.A. Sandoval Castro.

Tamaño de partículas: la descomposición puede ser acelerada por la molienda de los materiales porque permite mayor superficie de contacto facilitando la invasión microbiana (Díaz, 2002).

Microbiológico: En el proceso de composteo unos organismos van sustituyendo a otros, produciendo de esta manera la riqueza en microorganismos favorables para las tierras y la ausencia de los patógenos, con lo cual se determina la calidad biológica del abono final. Si en el proceso se presentan las temperaturas deseadas, la UC se habrá pasteurizado y se eliminarán los patógenos para personas, animales

y plantas, esto se logra según Poincelot (1975), con una temperatura homogénea y no excesivamente continua de 60 °C (Cuadro 3). Si la humedad es suficiente, las semillas contenidas en los residuos germinarán y morirán al subir la temperatura a 60 °C.

Cuadro 3. Muerte de algunos organismos microscópicos en función de la temperatura y el tiempo de exposición.

Organismos	Tiempo	Temperatura (°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	30 min	55-60
<i>Salmonella sp.</i>	1 h	55
<i>Shigella sp.</i>	1 h	55
<i>Escherichia coli</i>	20 min	60
	1h	55
<i>Estamoeba histolytica</i>	pocos min	45
<i>Taenia saginaria</i>	pocos min	55
<i>Trichinella spiralis</i>	Instantánea	60
<i>Streptococcus pyrogenes</i>	10 min	55

Fuente: L.A. Uicab-Brito, C.A. Sandoval Castro.

Con esto podemos decir que una composta es madura en el momento en que prácticamente la fermentación está paralizada, considerando al producto estable. Existen varios métodos para comprobar la madurez; uno ya mencionado es la estabilidad de los valores de la relación C/N. Otra forma es comprobar la estabilidad y la temperatura introduciendo a la composta en una cámara aislada térmicamente:

si la temperatura se eleva, es un indicio de que continúan los procesos de fermentación. Existen otros métodos como pruebas de germinación, demanda de oxígeno, morfocromatografía, entre otros.

Potencial de Hidrógeno (pH): el pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). en los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6.0-7.5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5-8.0; el rango ideal es de 5.8 a 7.2 (Román, 2013).

Si se producen estiércoles sólidos por medio de los materiales de lechos para animales, o si se emplea la separación de sólidos y líquidos, la materia sólida puede proveer el material básico para uno de dos procesos subsecuentes: composta y vermicultura. Ambos procesos son capaces de generar productos aprovechables (Soto *et al.*, 2004).

El proceso de hacer composta, es la descomposición de una mezcla de materiales orgánicos de desecho por una variedad de microbios en un ambiente húmedo, caliente y aeróbico. Es un proceso que ocurre naturalmente y puede ser acelerado y empleado comercialmente con la aplicación de las condiciones apropiadas, como sigue:

- Un balance entre C y N en el material de alimentación (idealmente 30:1 por peso). Esto se logra normalmente por la mezcla de materiales de distintas fuentes.
- Una relación aproximada C: P de 100:1.
- Una estructura estable de poros (típicamente 70 % de poros vacíos asegura que haya suficiente espacio de aire para sostener la respiración de los microbios y prevenir un sobrecalentamiento por arriba de 80 °C).
- Un contenido de humedad en el rango 50-70 por ciento.

Las características descritas en el cuadro 4, presentan las características analizadas y permitidas para una composta en condición de estabilidad, lo cual se diagnostica por diversos parámetros. Algunos de ellos se pueden determinar en campo, (temperatura, olor, color), otros son determinados a nivel de laboratorio (Rodríguez-Salinas y Rojas, 2000).

Cuadro 4. Parámetros de control de estabilidad de la composta

Parámetro	Valores reportados
Temperatura	Estable
Color	Marrón oscuro-negro ceniza
Olor	sin olor desagradable
PH	alcalino (anaeróbico. 55 °C,24 hrs)
C/N	> = 20
No de termófilos	decreciente a estable
Respiración	0 <10 mg/g compost
Media	0 <7.5 mg/g compost
CIC	>60 meq./100 libre de cenizas
Actividad de enzimas hidrosolubles	Incrementándose - estable

Polisacáridos	<30-50 mg glucidos/g peso seco
Reducción de azucares	35%
Germinación	<8
Nemátodos	Ausentes

Fuente: L.A. Uicab-Brito, C.A. Sandoval Castro.

El valor de la composta reside en sus características físicas que pueden mejorar la estructura del suelo y en su contenido rico de nutrientes de liberación lenta. Una buena composta generalmente es de color gris-pardo, textura friable con un olor de suelo o mantillo de hojas, y una alta capacidad de retener agua (hasta 150 por ciento del peso seco del material).

5.2.6. Tratamiento aeróbico-biológico de desechos líquidos

A pesar de que la separación puede contribuir significativamente a la reducción del potencial contaminante de los lodos, el líquido que se queda después de la separación todavía representa una amenaza contaminante seria. En la mayoría de los casos, la aplicación cuidadosa al suelo permite la eliminación segura. A veces dicho método puede ser poco indicado para una granja específica, por lo que un tratamiento aeróbico biológico podría ser útil.

La aireación incrementa la cantidad de oxígeno disponible para las bacterias que aparecen naturalmente en el lodo, y así se incrementa su tasa metabólica y se provoca su multiplicación. La acción de estas bacterias aeróbicas es oxidar biológicamente los compuestos contaminantes en el lodo, y, por lo tanto, lo hace menos ofensivo. Los procesos biológicos involucrados son similares a los utilizados para hacer composta, y son efectivos en quitar los componentes reactivos orgánicos

tales como ácidos grasos volátiles (AGV). Los principales productos del proceso son CO₂, H₂O y N₂.

5.2.6.1. Beneficios esperados de la aireación

- La reducción de malos olores y emisiones de metano durante el almacenamiento y la aplicación al suelo.
- Una reducción en el contenido de nitrógeno amoniacal (por medio de nitrificación) y la desnitrificación subsecuente.
- Una reducción de la DBO del lodo.
- La inactivación de muchos patógenos (pero no llega a ser una desinfección completa).

5.2.7. Digestión anaeróbica

Típicamente es cinco veces más lenta que el tratamiento aeróbico, e involucra la degradación parcial de la materia orgánica por bacterias en la ausencia de oxígeno para producir un biogás (una mezcla de metano y bióxido de carbón) y más bacteria. El proceso también reduce la DBO del lodo. Reducciones más grandes de la DBO pueden ser logradas por la separación de los sólidos del lodo antes de la digestión, a pesar de que esto reduce el rendimiento de biogás.

La mayoría de los sistemas de digestión anaeróbica de desechos de ganado, operan entre 30 y 40 °C, y, por lo tanto, dentro del llamado rango mesofílico (20 a 40 °C). Sin embargo, la digestión anaeróbica también ocurre en los rangos psicrófilico (<20 °C) y termofílico (>40 °C de temperatura), aunque éstos involucran a diferentes poblaciones de microorganismos. En climas templados, una parte del biogás tiene que quemarse para calentar el lodo a temperaturas mesofílicas o termofílicas, y esto

hace más complicado el diseño y operación del sistema. En regiones más cálidas, las digestiones psicrófila y mesófila pueden suceder sin la necesidad de calefacción adicional, y se puede ahorrar algunos costos de operación, aunque sigue siendo muy importante la recolección segura y efectiva del gas sin permitir que se escape a la atmósfera. El metano en la atmósfera es un gas de invernadero significativo (López, 2010).

5.2.7.1. Beneficios esperados de la digestión anaeróbica

- Una reducción de malos olores.
- La desactivación de muchos patógenos (aunque hace falta un tratamiento térmico adicional para lograr una desinfección completa; la temperatura requerida y su duración depende del tipo de desecho y la naturaleza del riesgo de los patógenos).
- Alguna mejora en la disponibilidad de los nutrientes de cultivos.
- La producción de energía a raíz de la combustión del biogás.

La evaluación de los riesgos de contaminación causados por excedentes de nutrientes es el primer paso en dicho proceso, y el segundo es tomar en cuenta las múltiples opciones disponibles para reducir el riesgo. Y en algunos casos proveer nuevas oportunidades de negocios.

5.2.8. Vermicultura

La vermicultura, es el manejo controlado de la actividad de lombrices para aprovechar la proteína y desechos trabajados por ellas. El proceso es comparable, en muchos sentidos, con la fabricación de composta, con la diferencia de que esta se inocula, para mejorar la calidad final del producto tratado.

El proceso requiere un manejo más cuidadoso que la composta para mantener las condiciones ambientales correctas para las lombrices: temperatura de 25 °C (con un rango tolerable de 10-35 °C); contenido de humedad 85 % (rango tolerable de 50-90 %; pH 5 (rango tolerable 4-9).

VI. MATERIAL Y MÉTODO

6.1. Área de estudio

Telpintla, se localiza en el municipio de Temascaltepec. El clima predominante es templado subhúmedo, presenta una temperatura media anual que oscila entre los 18° C y los 22° C. A una altura de 1,740 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con Valle de Bravo y Amanalco de Becerra, al sur con Tejupilco, San Simón de Guerrero y Texcaltitlán, al este con Zinacantepec y Coatepec Harinas y al Oeste con Zacazonapan y Tejupilco. La distancia a la capital del estado es de 66 kilómetros y de 140 al Distrito Federal (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2010).

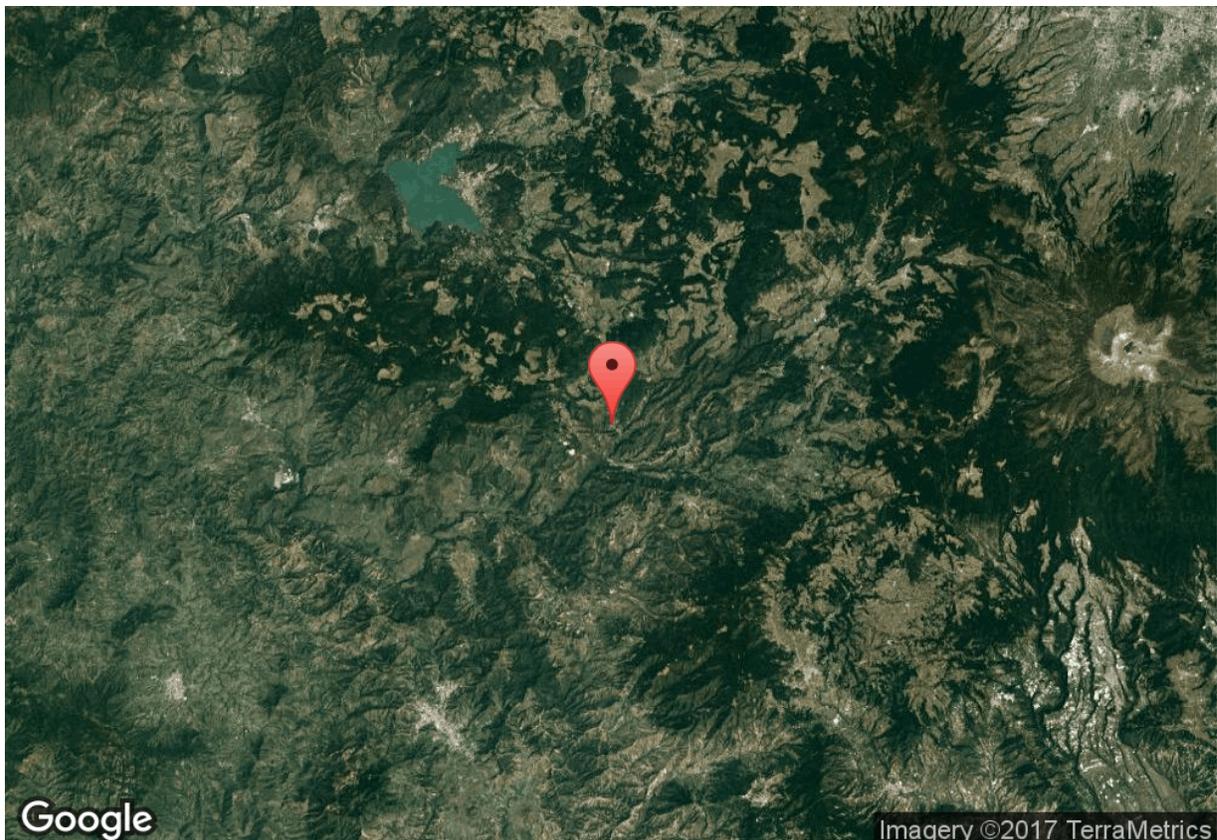


Figura 1. Ubicación de la comunidad de Telpintla, Temascaltepec, Estado de México.

6.2. Área experimental

La Granja Las Pulgas, productora de cerdos de ciclo completo, se localiza en Telpiltla, Temascatepec, México, ligeramente hacia el sudeste de Toluca, en las coordenadas geográficas 100° 02' longitud Oeste y 19° 03' de latitud Norte.

El clima es semicálido sub-húmedo, con una temperatura promedio que va de 18 °C a 22 °C, y una precipitación que fluctúa entre 800 y 16'00 mm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2010).

Esta granja se estableció en 1986, es una explotación privada, con ciclo completo, las principales razas que maneja son: en hembras Yorck Landrace, en machos Pietrain Duroc. Actualmente, tiene una capacidad instalada de 100 vientres: 75 en gestación, 5 vacías, 20 lactantes, 1 semental. La granja cuenta con tres áreas de trabajo. En el manejo de la granja en sus diversas áreas está constituida por 7 personas, dos profesionales en veterinaria y zootecnia.

En el área de pie de cría se realiza la inseminación, el proceso de gestación, cría y destete. En un área adjunta, se desarrollan las etapas de preiniciación, iniciación, desarrollo y engorda.

En el área de reproducción se realizan las actividades de extracción, valoración y elaboración de dosis de inseminación.

6.2.1. Parámetros de productividad

Cuadro 5. Parámetros de productividad de la "Granja Las Pulgas"

HEMBRAS		
Parámetros	Variable	
Edad	meses	7.5
Edad 1er Calor	meses	6
Edad 1er Parto	meses	11.5
Partos	No./Año	2.3
Lactancia	Días	21-28
Días Abiertos	Días	40
Intervalo / Partos	Días	158
Servicios / Gestación	No./ Servicio	2
Lechones. Nacidos Totales	No./ Parto	11
Lechones. Nacidos Vivos	No./ Parto	9.5
Lechones Destetados	No./ Vientre	8.4
Peso al Destete	Kg	7.2
Vida Útil Vientre	Años	7 partos/5
Reemplazos por Año	%	33.1
Fertilidad	%	80-90
SEMENTALES:		
Peso de Inicio	Kg	125
Sementales/ 100 Vientres	No.	1:20, 1:200
Vida Útil Sementales	Años	2 años
Reemplazos / Año	%	2
MORTALIDAD		
Lechones (1a. etapa)	%	12
Cerdos (5a. etapa)	%	3.1
Cerdos (6a. etapa)	%	0
Animales adultos	%	0

Fuente: Información del productor.

6.2.2. Condiciones de manejo

La Granja Las Pulgas, cuenta con una planta de alimento, donde utiliza principalmente sorgo, pasta de soya, salvado, grasa de pollo, sebo de res y premezclas para cada etapa. Cuenta con un calendario de vacunación, donde previene principalmente: Leptospira, Parvo virus. Además, cuenta con certificado de Libre Fiebre Porcina y Aujesky.

La granja maneja un calendario de desparasitación, el medicamento que principalmente utiliza en las hembras es Ivermectina. Por otra parte, en el área de maternidad es desinfectada con UCASAN. Una práctica de manejo en los lechones es la aplicación de hierro en los primeros días de nacidos y a las hembras de cría les aplica vitamina ADE y complejo B.

Con respecto a la comercialización, se está incursionando en la integración de su cadena de valor, ello con el propósito de lograr un mayor valor agregado de su producto y no sólo producir el ganado en pie. De esta forma, el 85 % de sus ventas los realiza al obrador de la misma granja; alrededor de un 15 % lo vende en pie al rastro, asimismo esta granja realiza ventas de pie de cría. Cabe señalar que aproximadamente un 10 % de lo que se vende en el obrador es destinado a elaboración de embutidos.

6.2.3. Manejo del material biológico (residuos)

La gestión ambiental contempla, como una parte importante y obligada de cualquier industria pecuaria, empresa o institución, organizar actividades humanas para minimizar la contaminación. Esto se logra a través de la aplicación y análisis de

actividades como el manejo de los recursos utilizados para la producción, ya sea animal, vegetal o industrial.

La Granja las Pulgas, realiza el manejo de residuos en piletas de cemento de 1.20 de ancho por 1.60 m de alto, con techo laminado, considerando la aireación (Figura 2).



Figura 2. Piletas de cemento para depósito de residuos orgánicos, Granja Las Pulgas.

- a) Las piletas son llenadas con los residuos biológicos resultantes de la producción (lechones muertos, placentas, etc), y con aserrín.

- b) Los llenados se realizan cada 8 días, con la finalidad de no acumular residuos en la Granja.
- c) Se llenan alternando una capa de aserrín de 30 cm de pino de partícula fina (< de 2 mm) como fuente de carbono, obtenido en una empresa comercializadora local, y 15 cm de material biológico (placentas, aparatos reproductores, animales muertos, etc.), con partes seccionados en tamaños similares (Figuras 3 y 4). Se tiene una mezcla inicial de compostaje en una relación C/N de 25/1, el cual se encuentra dentro del rango sugerido como óptimo para el inicio de los procesos de compostaje (Labrador 2001; Hansen *et al.*, 2001).
- d) Se sellan los espacios de la capa y se cubren con 30 cm de aserrín. Para terminar, se coloca una capa de hasta 50 cm que permite la concentración de calor.
- e) Los residuos fueron retirados al mes de la pila, y cambiados a la siguiente, para continuar con el proceso de "aireación", mientras la 1ª es llenada con nuevo material. Al final del ciclo (6 meses), el material es recolectado para ser utilizado en suelos agrícolas.



Figuras 3 y 4. Manejo de residuos en la Granja Las Pulgas, Temascaltepec, Estado de México.

6.2.4. Muestreo

Se tomaron muestras de 1 kilogramo de la parte media de pilas, en diferentes tiempos de compostaje: 30, 60 y 180 días. Éstas fueron sometidas a un tratamiento convencional; en cada una de ellas se registró la temperatura con un termómetro de Hg. en escala de 0-100 °C, introduciéndolo directamente en las pilas. Estas muestras fueron depositadas en bolsas plásticas tipo zi-ploc y fueron trasladadas para su procesamiento en el laboratorio.



Figura 5. Material biológico a los 3 meses de composteo.



Figura 6. Material biológico a los 6 meses de composteo.

6.2.5. Análisis físicos

Se realizaron los análisis físico-químicos en el laboratorio de Suelos y Nutrición, del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, de la Universidad Autónoma del Estado de México. Las muestras se deshidrataron a temperatura ambiente y fueron tamizadas por la malla de un 1 mm.

El color de los tratamientos, se determinó por la técnica de Munsell (Munsell, 1990). Se determinó el olor de los tratamientos por características sensoriales. La determinación se hizo con un panel de 4 personas (alumnos y profesores de la licenciatura de Ingeniero Agrónomo Zootecnista) a quienes se les proporcionó una muestra de cada tratamiento con la finalidad de percibir y registrar el olor (a tierra húmeda u olores pestilentes) de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2008, el cual fue asignado por el número de veces que coincidió el registro de los examinantes.

6.2.6. Análisis químicos

Se determinó el contenido de nitrógeno (N), por el método Kjeldhal (1990), el contenido de Carbono Orgánico, por el método de combustión húmeda de Walkley-Black (Chapman y Pratt, 1973), al igual que el contenido de Materia Orgánica, una vez obteniendo el contenido de Carbono orgánico, por el factor de corrección 1.724, relación C/N. La relación C/N, dividiendo los datos obtenidos de carbono orgánico y nitrógeno total. La conductividad eléctrica (CE) se midió con un conductímetro de bolsillo marca Hanna, tomando la lectura directamente de las pilas. Para la determinación del pH, se tomaron muestras de 10 g. del sustrato por pila y se le añadieron 20 ml de agua destilada, agitada durante 20 min de forma manual con un agitador de vidrio y medido con un potenciómetro Oakton modelo 702-75, en el laboratorio del Centro Universitario UAEM Temascaltepec (Chapman y Pratt, 1973). La determinación de elementos mayores: P, K, se realizó mediante acetato de amonio y su lectura en un fotómetro multiparámetro HI83225 (Uvalle-Bueno 1993).

6.2.7. Análisis microbiológicos

Se realizaron análisis microbiológicos de la composta en el Laboratorio de Análisis Microbiológicos, Físicoquímicos y Bromatológicos de alimentos, análisis de aguas potables y residuales (LABSER), en Toluca, Estado de México, para cada una de las variables.

El tratamiento realizado al compost para su aplicación como biofertilizante va dirigido a destruir las bacterias patógenas y mantener las condiciones desfavorables para su crecimiento. El incremento de estos patógenos es limitado, ya que las condiciones ambientales no son óptimas para su desarrollo y ellos son incapaces de competir por los nutrientes con la microbiota autóctona del suelo, aunque su vigilancia y control es de vital importancia (American Public Health Association, 1992).

Los principales patógenos bacterianos en la composta:

- *Salmonella* sp.: Es uno de los patógenos entéricos más estudiados encontrados en el compost. Es conocido que la temperatura de 55° C por 1 hora, es letal para los miembros de este grupo.

- *Shigella* sp.: La incidencia de *Shigella* sp. en la población está relacionada con la calidad sanitaria del agua. La destrucción de este género microbiano tiene lugar en un período de tiempo más corto que la destrucción de *Salmonella* y de los coliformes fecales (Feachem et al., 1983). La reducción del número de *Salmonella* sp. y coliformes fecales a determinados valores estipulados por la regulación Standard, en el proceso de tratamiento, nos indica que los miembros del género *Shigella* sp. han sido destruidos.

- *Campylobacter jejuni*: No presenta buenos niveles de sobrevivencia en el compost (Jones *et al.*, 1990), debido a su elevada susceptibilidad al calor. La exposición a temperaturas de 60 °C durante 5 minutos es letal, así como el tratamiento a 55 °C en un período de 20 a 30 días es muy efectivo en la destrucción de este patógeno. Se ha comprobado que la sobrevivencia de *Campylobacter* en el proceso de compostaje es prácticamente nula (Yanko, 1988).

- *Vibrio cholerae*: Es relativamente susceptible al calor. La exposición a temperaturas de 60 °C por 5 minutos o el tratamiento a 55 °C durante 20 a 30 días destruye totalmente a la bacteria. Estudios realizados por Feachem *et al.*, 1983, demostraron que no existe ningún reporte hasta el momento de la ocurrencia de *Vibrio cholerae* en el compost, posterior al tratamiento.

- *Escherichia coli*: El análisis de *Escherichia coli* en el compost debe realizarse solamente si se cumplen determinadas condiciones, tales como:

1. Presencia de molasas en la materia prima utilizada para la fabricación del compost.
2. Aplicación a la tierra transcurrida 1 hora después de su producción.
3. Suministro sobre cultivos destinados a la alimentación humana o animal, que van a ser utilizados en menos de 90 días después de su aplicación (Díaz-Ravina *et al.*, 1997).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Parámetros físicos

El contenido de humedad de la composta resultó de 78.05 % (Cuadro 6), con una pérdida por volatilización de 25.50 %. Un primer factor de suma importancia en el proceso de compostaje, es la humedad (H), ya que permite la movilidad de los microorganismos, el transporte de nutrientes y el flujo de oxígeno para mantener las condiciones aerobias (Kulikowska y Gusiatin, 2015). La composta muestra un contenido de H aceptable, como consecuencia de la reacción bioquímica de digestión aerobia; este resultado es comparable con la humedad de compost obtenido a partir de estiércol de cerdo y estiércol de residuos lácteos, con un 81 y 84 %, respectivamente (Quian *et al.*, 2014).

La densidad real fue de 0.46 g.cm³ es uno de los aspectos físicos que definen la calidad de la composta, en tanto se relaciona con su capacidad para mejorar la eficiencia de absorción, aireación y estructura del suelo.

Cuadro 6. Parámetros físicos de la composta terminada de residuos biológicos

Parámetro	Valores encontrados
<i>Olor</i>	<i>Tierra húmeda</i>
<i>Color</i>	Clave 5YR 2.5/2 (Marrón rojizo oscuro)
<i>Densidad real</i>	0.46 g. cm ³
<i>Temperatura</i>	35 °C
<i>Humedad</i>	78.05 %

Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio del CU UAEM Temascaltepec.

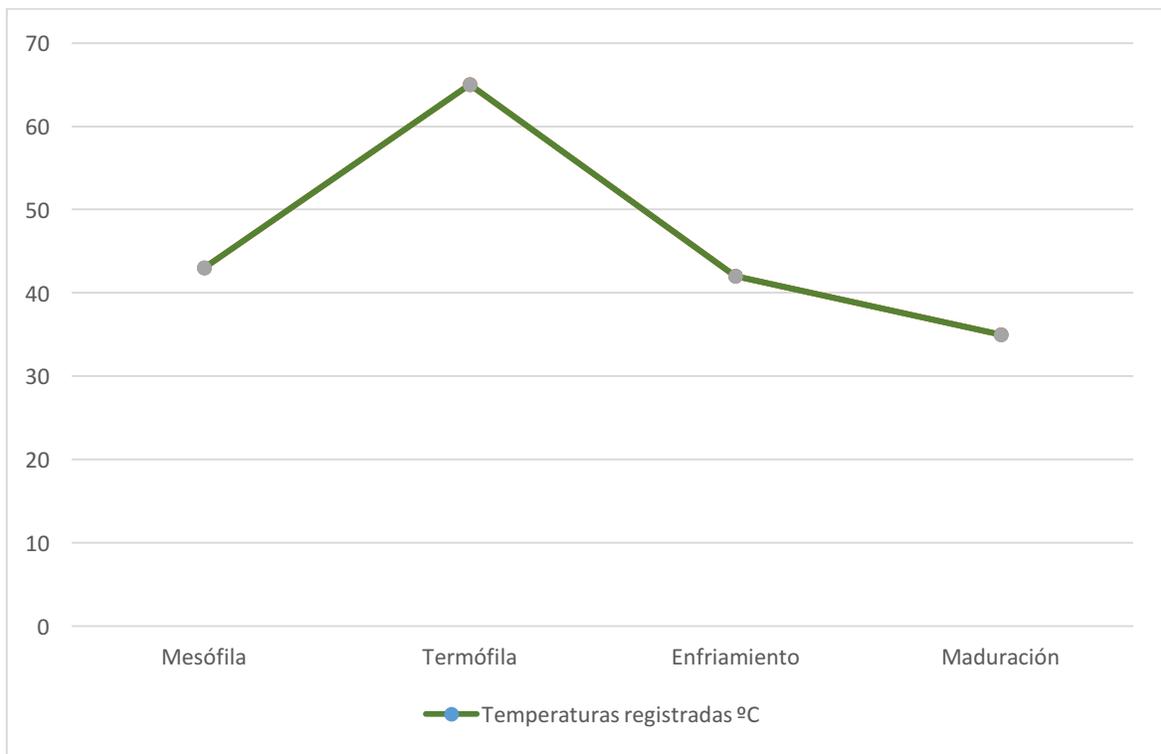
Los restos de animales y plantas se descomponen por la acción de los microorganismos mesófilos, que utilizan los hidratos de carbono y proteínas más fácilmente asimilables. Cuando los restos orgánicos se amontonan, el efecto aislante del material tiende a guardar el calor y elevar la temperatura, alcanzándose un máximo en un tiempo determinado.

En el presente estudio, se obtuvieron temperaturas superiores a 40 °C (43, 45, 46 °C), en los primeros días de compostaje, en esta etapa, la actividad mesofílica cesa y la degradación entra en la fase termofílica, encontrando picos de temperatura de 65 °C; en esta etapa los hongos termófilos mueren y la reacción se lleva a cabo por las bacterias formadoras de esporas y los actinomicetos, como lo expone Canet-Castelló, (2010), en su estudio con pilas estáticas de compostaje de mortalidad de ganado bovino, demuestra que las máximas temperaturas (69 °C). Aunque a estas temperaturas la celulosa y la lignina se atacan muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente.

Cuando la temperatura desciende de 60 °C, los hongos termófilos de los lugares menos calientes de la pila reinvaden la masa y comienza el ataque de la celulosa. La hidrólisis y subsiguiente asimilación de polímeros por los microorganismos es un proceso relativamente lento y, por tanto, la generación de calor decrece hasta alcanzar la temperatura del medio ambiente.

Conforme se consumen los materiales fácilmente degradables, la reacción se ralentiza y el calor que se genera es menor que el que se pierde, comenzándose a enfriar la masa, reportando, en este caso 35 °C (Figura 7).

Figura 7. Representación del comportamiento promedio de las temperaturas durante el proceso de compostaje.



El volteo de la materia orgánica (cambio de pila a los 30 días), influyó en la temperatura. Diferentes estudios reportan que voltear el material composteado, libera temperatura desde el núcleo interno al exterior, ya que la energía disponible para los microorganismos termófilos agota su tasa de crecimiento, se desacelera y comienza a descender la temperatura. Voltear el material en este punto, hace que se presente otro nuevo pico de temperatura, debido a que la materia orgánica no descompuesta se mezcla en el centro de la pila, en donde las condiciones de humedad y temperatura son óptimas para la descomposición, y permite la infiltración de oxígeno a la pila, lo cual es necesario para los microorganismos aerobios.

7.2. Parámetros químicos

Para el contenido de Materia Seca (MS) y Materia Orgánica (MO) de la composta, se muestra un alto contenido en ambas. En el caso de la MO (97 %) (Cuadro 7), Castillo *et al.*, (2000), reportan que los mayores contenidos de MO se encuentran en compostas realizadas a base de estiércol, mientras que otro tipo de compostas, como las de residuos de cocina, están en un 29.5 % o por debajo.

En este caso, se destaca que la composta es realizada con base en desechos biológicos (carne, hueso, etc.) y esto eleva el contenido de MO presente.

Cuadro 7. Contenido de Materia Seca y Materia Orgánica de la composta de residuos biológicos

<i>Variable</i>	<i>Contenido (%)</i>
MS	76.33
MO	97.08

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio del CU UAEM Temascaltepec.

Los abonos orgánicos comerciales deben tener valores totales mayores de 1 % de cada uno de los nutrientes N, P₂O, K₂O y un CIC (Capacidad de Intercambio catiónico), mínima de 30 Meq. 100 g⁻¹ de muestra (Icontec, 2004). Para el caso de la composta de residuos biológicos, los valores de los minerales encontrados, se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Contenido de minerales de la composta

Nutriente	Valores (%)
Nitrógeno (N)	1.9407
Fósforo (P)	7.3
Potasio (K)	0.94

Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio del CU UAEM Temascaltepec.

Las concentraciones de fósforo al inicio y al final de proceso fueron de 0.95 y 7.3 % respectivamente, el P desempeña un papel transcendental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. Comparado con los análisis de laboratorio en 6 compostajes de mortalidad finalizados en Michigan State University, determinaron valores de 0.63 % a 2.25 %, en el presente estudio se encontraron valores elevados comparados con los reportados en compostas de diferentes estiércoles, expone que estos contenidos se deben considerar para ser usados como enmienda y aliviar la baja disponibilidad de P en los suelos de la región.

Por su parte, macronutrientes como nitrógeno y el carbono, son fundamentales para descomposición de una composta. El primero de ellos, debido a la naturaleza proteínica del protoplasma, es un elemento esencial para la reproducción celular. No conviene que esté presente en exceso, pues podría pasar a ion amonio y perderse. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como de lípidos, grasas y carbohidratos. Durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico. Es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad, puesto que constituye el 50 % de las células de los microorganismos y el 25 % del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración.

Cuadro 9. Relación Carbono Nitrógeno de la composta (Base seca)

Contenido en la Composta	% Base seca
Carbono	37.47
C/N	19.72

Fuente: Datos obtenidos en Laboratorio del CU UAEM Temascaltepec.

El contenido de cenizas de la composta fue de 2.9 % (Cuadro 10), en un abono orgánico debe oscilar entre 5 y 20; un valor de C/N entre 10 y 20 se propone como aceptable, y se considera que los abonos con valores menores de 10 tienen una liberación más rápida de nutrimentos que aquellos con valores mayores de 20 (Day y Shaw, 2001).

Para el buen desarrollo del proceso de compostaje, se considera de interés que el material de partida tenga una relación C/N adecuada. Según la mayoría de los investigadores, éste es un aspecto muy importante y teniendo en cuenta que los microorganismos utilizan generalmente treinta partes de carbono por una de nitrógeno, esta relación (30:1) debe considerarse óptima en los materiales que se van a compostear (Kiehl, 1985). Hay autores que señalan los umbrales de 26-35 como los más recomendables para un rápido y eficiente compostaje. Si éstos son inferiores se producen pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal mientras que si, por el contrario, la relación inicial es muy elevada, el proceso se prolonga y es preciso rebajarla añadiendo alguna fuente nitrogenada.

Cuadro 10. Características químicas de la composta de residuos biológicos

<i>CEN</i>	<i>pH</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>
2.9173	6.8	86.9450	76.844

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Nutrición del CU UAEM Temascaltepec

Los valores de pH del material orgánico, presentaron variaciones a lo largo del proceso de compostaje (cuadro 10), aumentando de 5.3 al inicio (1 semana de reliaza la composta), hasta 6.8 en la etapa de maduración. El pH de una composta bien elaborada, tiende a ser alcalino, Heereden *et al.* (2001), obtuvieron un pH de 7.2 con residuos de cáscara de naranja e hidróxido de calcio, después de 80 días de compostaje, por otra parte, Jayasinghe *et al.* (2010), analizaron compostas

producidas a partir de residuos de caña (60 %) y materiales sintéticos (40 %), y obtuvieron un pH final de 6.4, el cual es un tanto similar al reportado en esta investigación.

El aumento del pH de un sustrato orgánico se debe a la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica y la liberación de iones hidroxilo en el medio, mientras que la disminución en el pH es resultado de la volatilización de amonio (Roca *et al.*, 2009), todo dependerá del tipo de sustrato y las condiciones del medio que determinan la temperatura. Al inicio del proceso, la masa está a temperatura ambiente y, por lo general, es ligeramente ácida. Conforme la población mesofílica indígena se multiplica, la temperatura crece rápidamente. Entre los productos que se forman en esta etapa inicial, existen ácidos orgánicos sencillos que causarán un descenso del pH.

7.3. Parámetros microbiológicos

Para conseguir que las diferentes etapas del compostaje se desarrollen en condiciones aerobias, los microorganismos existentes deben tener oxígeno suficiente, ya que de no ser así son sustituidos por los anaerobios con el consiguiente retardo del proceso de compostaje y producción de ácidos en el medio; además, los procesos de reducción anaerobios se desarrollan mediante rutas metabólicas y con poblaciones microbianas diferentes a los aerobios. Por tanto, en el compostaje es necesaria la aireación de las pilas, pero siempre dentro de unos límites, ya que un exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos.

De las comunidades microbianas aisladas en el abono orgánico, se encontró una densidad poblacional (UFC g⁻¹) (Unidad Formadora de Colonias) de 1, 400, 000 de Coliformes totales (Cuadro 11), cabe señalar que el metabolismo microbiano está influenciado por condiciones ambientales como pH, temperatura, humedad, oxígeno, nutrientes, sustancias tóxicas, etc., y las condiciones ambientales que pueden ser limitantes para un microorganismo pueden ser ideales para otro (Nogales, 2005).

No se encontró presencia de *Salmonella sp.*, así como para *Shigella sp.*. La ausencia de estos patógenos, indican que el abono se encuentra estable biológicamente, debido a que la Materia Orgánica se ha descompuesto en su totalidad. Lo anterior concuerda con lo reportado por Uicab-Brito y Sandoval Castro, que indican que la exposición a 55 °C de temperatura, eliminan del proceso a los microorganismos patógenos como. *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, *Escherichia Coli*, entre otras.

Cuadro 11. Contenido microbiológico de la composta de residuos biológicos

Determinación	Contenido total
<i>Coliformes fecales, (UFC/g)</i>	1 400 000
<i>E. Coli</i>	Ausente
<i>Salmonella sp (25 g)</i>	Ausente

Fuente: Laboratorios de análisis microbiológicos, LABSER. UFC: Unidad Formadora de Colonias g⁻¹.

La finalización del proceso desde el punto de vista microbiológico se caracteriza por la baja actividad metabólica. Los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje, precisan elementos esenciales para su nutrición, desarrollo y reproducción. Entre éstos, están algunos micronutrientes (boro, manganeso, zinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto) que deben de estar presentes en poca cantidad, pues pueden llegar a ser tóxicos a concentraciones altas (Mejía-Sánchez, G.M. 1995).

Las características descritas, corresponden a una composta en condición de estabilidad, lo cual se diagnostica por diversos parámetros, algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, color, olor), otros se deben de determinar en laboratorio (Poincelot, 1975; Sztern y Pravia, 2001).

El contenido ruminal es uno de los contaminantes con mayor impacto ambiental ya que produce una alta carga orgánica en los efluentes de los rastros que por su forma de depósito llegan a fosas sépticas, basureros municipales y aguas residuales fomentando la contaminación, sin embargo, el contenido ruminal en lugar de ser visto como un contaminante, es una fuente valiosa de nutrimentos cuando se incorpora a las dietas de animales, ya que representa el alimento ingerido por los poligástricos, además posee una gran cantidad microbiana que puede ser benéfico para el suelo si se pretende el uso del CR como abono (Domínguez y Barajas, 1993; Ayala y Perea, 2000).

Sobre estas bases es posible validar, adecuar y promover tecnologías de alternativa que representen una solución efectiva y ajustada a cada realidad, puntos que puede cumplir el proceso de composteo (Domínguez-Cota *et al.*, 2004). No obstante, las principales alternativas que se han manejado con mayor o menor resultado para la reutilización y/o reconversión de los residuos son: residuos utilizados como fuente de alimento animal, como fuente energética y como fuente de producción de abonos (Ortega, 2000).

VIII. CONCLUSIONES

Las características físicas de la composta de residuos biológicos, presentan parámetros como olor, color, temperatura, humedad y densidad real comparables con los de compostas realizadas a base de residuos vegetales o diferentes estiércoles, según la literatura.

Los parámetros químicos de la composta presentan altos contenidos de MO, principalmente, debido a la incorporación de residuos como carne, hueso, sangre, vísceras, aparatos reproductores, etc., lo cual incrementa considerablemente la cantidad de la misma. El Fósforo demuestra valores altos, que puede ser una alternativa en el mejoramiento de suelos agrícolas, dada la poca movilidad del nutriente en el sustrato (1 cm/ año). Por otra parte, el pH demuestra valores cercanos a la neutralidad, lo cual puede ayudar a disminuir la acidez en el suelo. En cuanto a los contenidos de N y K, es comparable a una composta o lombricomposta de manejo convencional.

Para el análisis microbiológico, la composta demuestra ser un abono libre de patógenos, por lo que se puede utilizar como abono orgánico, sin riesgo de presentar enfermedades por *Salmonella sp.*, *Shigella sp.* o *E. Coli*.

Los resultados demuestran que el composteo de residuos biológicos, es una opción viable para dar tratamiento y manejo a los desechos de granjas pecuarias, hasta un grado tal de ser reincorporados al suelo para contribuir en el enriquecimiento de nutrimentos del mismo.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda dejar en reposo el material composteado al final del proceso, y realizar una prueba de fitotoxicidad, para determinar su grado de afección en cuanto a Coliformes totales.

Realizar un análisis de microminerales al sustrato, para agregar elementos a la presente investigación.

Realizar pruebas de germinación, considerando Índices de Germinación (IG) mayores o iguales a 80 %, como parámetro recomendable para su uso en la agricultura.

Incorporar el sustrato composteado y analizar parámetros físicos y químicos directamente en suelo, para conocer sus rendimientos con este tipo de abono.

Realizar investigaciones posteriores, incorporando el material biológico composteado a diferentes dosis, en frutales y hortalizas, para su medir rendimiento nutricional y productivo.

Atendiendo la demanda de la problemática ambiental por la generación de desechos en granjas pecuarias, se recomienda optar por esta estrategia o tecnología en el manejo de sus residuos, orientada hacia la simplificación de los procesos, que busque economizar y dar valor agregado a la utilización de los desechos.

X. LITERATURA CITADA

- Acurio, G.; Rossin, A.; Teixeira, P. F. y Zepeda, F. 1997. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana. Washington, D. C. 130 p.
- Altieri, M. A. ,2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1-3): 1-24.
- Altieri, M. y Toledo, V. M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. USA. *J. Peasant Studies*. 3(38):587-612.
- American Public Health Association, 1992. Standards Methods for the Examination of Water and Chapman y Pratt, 1973, Análisis de suelos; Análisis de plantas; Análisis de aguas.
- American Public Health Association, (2012) Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater 18 th ed.; Washington, APHA, AWWA, JWPCF.
- Arnés, E., J. Antonio, Ek del Val, and M. Astier. 2013. Sustainability and climate variability in low-input peasant maize systems in the central Mexican highlands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 181: 195-205.
- Arriaga D. C., 2007. Reporte Anual de Investigación e Innovación Tecnológica en residuos, pp. 103-156. México.
- Ayala, G.; Perea, T.F. 2000. Reciclado de materiales orgánicos de desperdicio a escala industrial. *Revista grupo ecológico*. 200-209.

- Azuela, A. 2007. El cofre vacío. Los indicadores de cumplimiento ambiental en México 1996-2006. Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente (CEIBA), México, D. F.
- Bakker, M., G. Govers, and M. D. A. Rounsevell. 2004 The crop-productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena* 57: 55-76.
- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 151-163.
- Bautista C., A., J. Etchevers B., R. F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13: 90-97.
- Berge M., Hacken N. H. T., Cohen, J., Douma, W. R., Postma, D. S., 2011. Small airway disease in asthma and COPD: clinical implications.
- Berge, B. C. and Thomas D. Glanville. Composting of animal carcasses. A safe and environmentally sound approach to take care of animal mortalities. Disponible en: <http://en.engormix.com/MA-poultry-industry/genetic/articles/composting-of-animal-carcasses-t1652/103-p0.htm>.
- Brañes, R. 2004. La fundación del derecho ambiental en América Latina. México, D. F. 198 p. **Disponible en:**
<http://www.pnuma.org/gobernanza/cd/Biblioteca/Derechoambiental/19200>.
- Canet-Castelló, R. y Albiach-Vila, M. R., 2010. Aplicaciones del compost en agricultura ecológica. Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVAI). España. 380-395 pp.
- Capistrán, F.; Aranda, E. y Romero, J. C. 2001. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. S y G editores, S. A. de C. V. México D. F. 150 p.

- Castillo y colaboradores (2000). Nature Resource, Agriculture and Engineering Service. Cooperative Extensión-152 Riley-Robb Hall. New York. 27-28, 32 p.
- CelBA (Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente). 2012. Fortalecer el desarrollo sustentable: Una prioridad nacional. México, D. F.
- Chapman y Pratt, 1973, Análisis de suelos; Análisis de plantas; Análisis de aguas.
- Chapman y Pratt, 1973. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. USA. J. Peasant Studies. 3(38):587-612.
- Chiras, Daniel D, 1994. Environmental science: action for a sustainable future. Redwood City, California: Benjamin Cummings.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2000. Estrategia Nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- Cummings, B., 1994. International Journal of Communications, Network and System Sciences, Vol.9 No.6, June 28, 2016.
- Day y Shaw, 2001. La Materia Orgánica en los Agroecosistemas. Grupo Mundi-Prensa. España. 169-171 pp.
- Del Val, A., 2009. The potential value of organic, rural and urban residues for sustainable agricultura.
- Del Val, A., 2009. Tratamiento de los residuos sólidos urbanos, consideraciones básicas. Primer Catálogo Español de Buenas Prácticas. Construcción de la ciudad sostenible.
- Desarrollo Rural, (2007). secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación. elaboración de composta.

- Díaz-Ravina, 1997. Tolerance to environmental contaminants. Ed. Claude Amiard-Triquet Philip S. Rainbow, Michel Romeo. pp 433.
- Díaz, 2002. Inventario Forestal Nacional de Gran Visión. Reporte principal. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México, 49 pp.
- Díaz, M. 2001. El aprovechamiento de recursos naturales. Hacia un nuevo discurso patrimonial. Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. México, D. F.
- Domínguez-Cota, J.E.; Flores-Aguirre, L.R.; Barajas, C.R.; Obregón, J.F. 1994. Utilización de contenido ruminal seco en la alimentación de rumiantes productivos en Sinaloa. Memoria del 1er. Foro estatal "ambiente y ecología en Sinaloa, diagnóstico y perspectivas". Junio. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Domínguez, C.J.E.; Barajas, C.R. 1993. Utilización del contenido ruminal en dietas integrales para borregos de engorda. Memorias del XVIII congreso nacional de bueitria. Noviembre. México, D. F. 318- 320p.
- Feachem, 1983. Sanitation and Disease health aspects of excreta and wastewater management. pp 534.
- Gobierno de la República, 2014. Programa especial de cambio climático 2014-2018, México. Disponible en: <http://www.coneval.gob.mx/Evaluacion/BFI/Paginas/BibliografiasobrelaMetodologiademarcoLogico.aspx>.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF), 2003. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 22 de abril de 2003. México, D. F
- Golueke y Díaz, 1990; Sztern y Pravia, 2001 Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 2, núm. 2, 2003, pp. 45-63 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México.

- Greenpeace 2010. Ley basura cero: recomendaciones para un tratamiento ambientalmente saludable de los residuos orgánicos. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/mexico/es/campanas/contaminacion/basura-cero/Ley-Basura-Cero/>.
- Grupo Interagencial de Desarrollo Rural, 2007, México. Temas prioritarios de política agroalimentaria y de desarrollo rural en México. Banco Mundial, CEPAL, FAO, IICA.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010.
- Jones et al., 1990. An experiment informal de nition of operating system facilities. IPL, 6(6):187189, Dec.1977
- Jones, P.D., Raper, S.C.B., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Kelly, P.M. and Wigley, T.M.L., 1990: Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25, 161-179.
- Keener, H.M., & Elwell, D.L. 2000. Mortality composting principles and operation. In *Ohio's Livestock and Poultry Mortality Composting Manual*. Ohio: The Ohio State University Extension.
- Kiehl, 1985. Approaches to assess the environmental impact of organism farming with particular regard to Denmark. *Agronomyc Ecosystem. Environmental* 83: 11-26.
- Kjeldhal, 1990, Evaluation of Protein Solubility as an Indicator of Overprocessing Soybean Meal *Poultry Science*, Volume 69, Issue 1, 1 January 1990, Pages 76–83, Published: 01 January 1990 Article history.
- Kulikowska y Gusiatin, 2015. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 65: 123-125.

- Labrador 2001; Hansen et al. 200. Sensitivity to surface forcing and boundary layer mixing in a global ocean model: Annual-mean climatology. *J. Phys. Oceanogr.*,27,2418-2447.
- Lee, D. R. (2005). Agricultural sustainability and technology adoption: Issues and policies for developing countries. *American Journal of Agricultural Economics* 87(5): 1325-1334.
- Lemus, A. 2001. "¿Qué se puede hacer con la basura? Compost y compostaje". Parte 1. *Desde la Ciencia* 4:5-13.
- Lemus, S., Navarro, L., Velázquez, M. J., Ryan, E., and Megías, J. L., 2014
- Lesur, L., 1998. *Manual del manejo de la basura: una guía paso a paso*. Editorial Trillas. México, D. F. 96 p.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos (BOE de 22 de Abril de 1998).
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (BOE de 25 de Abril de 1997).
- López, R.J. 2010. Agro-industrial waste composting and its agriculture significance. *The fertilizer society*. 293: 5-25.
- Marchoil *et al.*, 2009. Effect of municipal waste Leachate on seed germination in soil-compost mixtures. *Restoration Ecology* 7: 155-161
- Marcia T. CM., 2014. *El desafío de la sostenibilidad ambiental en México*.
- Medina, M. 2009. *Reciclaje de desechos sólidos en América Latina*. México. *Frontera Norte*. 21(11):1-25.
- Medio ambiente, 2000. *Artículo. Perfil Ambiental de España 2013* pp. 402
- Mejía-Sánchez, G.M. 1995. Algunos aspectos acerca del manejo de los desechos orgánicos. *Boletín académico FIUADY*. Enero- Abril 27: 61-68.

- Mendoza, 2008. Responses induced by high concentration of cadmium in *Phragmites australis* roots. *Physiologia Plantarum* 121:66–74.
- Morín 2012. Assessing tolerance to heavy metals of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from sewage sludge-contaminated soils. *Applied Soil Ecology* 11:261–269.
- Navarro, L., 1995 y Lemus, S., 2015. The potential value of organic, rural and urban residues for sustainable agriculture. Article.
- Navarro, P.; Moral, H.; Gómez, L. y Mataix, B. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Edición electrónica Espagrac, Universidad de Alicante. España. 67 p.
- Ndegwa, P.M., and S.A. Thompson. 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresour. Technol.* 75:7-12.
- Nogales, 2005. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: vol. 14, núm. 2, mayo-agosto, 2005, pp. 41-50.
- Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT 2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la NOM-021-recnat-2000. (2002).
- Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- O' Ryan-Herrera, J. y Riffo-Prado, O. 2007. El compostaje y su utilización en agricultura, dirigido a pequeños(as) productores(as) pertenecientes a la agricultura familiar campesina. Fundación para la Innovación Agraria-Universidad de Las Américas, Chile. 40 p.
- Ortega, M.A. 2000. El compostaje. Agricultura ecológica. <http://www.alternativasganaderas.com/index.htm>

- Pastor, E. 2004. La participación ciudadana en el ámbito local, eje transversal del trabajo social comunitario. *Alternativas. Cuadernos de Trabajo Social*. 12(4):103-137.
- Poincelot, R.P. 1975. The biochemistry and methodology of composting. *Bolletín* 754. The Connecticut agricultural experiment station, new haven. 1-18p.
- Quadri, (G.; Wehenpohl, G.; Sánchez-Gómez, J.; López-Villalobos, A.; y Nyssen-Ocaranza, A. 2003). Aplicaciones del compost en agricultura ecológica. Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). España. 380-395 pp.
- Quadri, G.; Wehenpohl, G.; Sánchez-Gómez, J.; López-Villalobos, A.; y Nyssen-Ocaranza, A. 2003. La basura en el limbo: desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos. Primera edición. México. Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental (COMIA) y Agencia de Cooperación Alemana (GTZ). 98 p.
- Quián *et al.*, 2014. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. México. 183-184, 778-787 p.
- Quintero, R.; Ferrera, R.; Ethevers, J.; García, N.; Rodríguez, R.; Alcántar, G.; y Aguilar, A. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra Latinoamericana*, Universidad Autónoma Chapingo (UACH). México, D. F. 21(1)73-80.
- Quispe, A. 2010. ¿Cómo manejar y aprovechar la basura orgánica de las ciudades? Manual. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 67 p.
- Reglamento sobre protección del medio ambiente D.S.N° 016-93-EM de 28-ABR-93, pp. 115. Modelo de Contrato de Estabilidad Administrativa Ambiental en base

al Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) para la Actividad Minero Metalúrgica, y, D. S. N° 038-98-EM de 25-NOV-98.

Ricardo Bertolino 2015. participación ciudadana y gestión integral de residuo, pp. 137.

Ricardo Bertolino 2015. Seminario Taller internacional, 3 y 4 de noviembre 2015, Santiago de Chile Sala Celso Furtado, CEPAL. Artículo pp. 89.

Rivero, H.; Kausas, S.; González, Y.; Nieves, E. 2001. Estudios de las enmiendas orgánicas. Ministerio de ganadería, agricultura y pesca. Dirección general de recursos naturales renovables. División de suelos y aguas. Intendencia municipal de Maldonado, Uruguay. Unidad de divulgación ambiental. Dirección de higiene ambiental. Uruguay. 10p.

Roca *et al.*, 2009. Agronomy handbook. Soil and plant analysis. Memphis, Usa 114 p.

Rodríguez-Salinas, M. A. y Córdova, A. 2006. Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. Primera edición. Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. México, 104 p.

Rodríguez-Salinas, M.A.; Rojas, J.A. 2000. Aspectos técnicos en la producción de composta. <http://www.Caféinternetparaíso.com/index.htm>

Roman *et al* 2013. Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos. Programa para el desarrollo bajo en emisiones de México (MLED). Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). México, D. F. 83 p.

Román, 2013. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional 2000. Boletín del Instituto de Geografía núm. 43: 183-203. Investigaciones Geográficas, UNAM.

- Romero-Paredes, A. 2013. Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos. Programa para el desarrollo bajo en emisiones de México (MLED). Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). México, D. F. 83 p.
- Ruedell, J. 1994. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible FUNDACEP. p.90-105. México.
- Ruedell, J. 1995. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible FUNDACEP. 134pp. México.
- Selener, D. 1997. La sistematización de proyectos de desarrollo, una metodología de evaluación participativa para fortalecer la capacidad institucional de ONGs y organizaciones populares. Instituto Internacional de Reconstrucción Rural de la Oficina Regional para América Latina. Ecuador. 117 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras. México. Disponible en: <https://proteccionforestal.files.wordpress.com/2011/12/estrategia-nacional-de-manejo-sustentable-de-tierras.pdf>. (Consulta: septiembre 7, 2015).
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Programa sectorial de medio ambiente y recursos naturales. Diario Oficial 12/12/2013. (Consulta: septiembre 7, 2015).
- SEMARNAT-COLPOS (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Colegio de Posgraduados), 2002. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México, D. F.
- Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.

- Seoáñez Calvo, Mariano, 2000. Residuos: problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción.
- Soto, G. y Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Costa Rica. 65(1):123-129.
- Soto, G., & Meléndez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Costa Rica: Hoja Técnica.
- Sztern, D. y Pravia, M. A., 2001. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cellular and Molecular Life Sciences 57:779–795.
- Sztern, D.; Pravia, M.A. 2001. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización panamericana de la salud. Organización mundial de la salud. San José Uruguay. 56p.
- Torres, 2008. Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition 3:643–654.
- Velasco, J. 2012. Planta piloto de compostaje: Biotecnología de descomposición de residuos orgánicos agroindustriales. Propuesta mecanografiada. Subdirección de Investigación, Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México, D. F. 44 p.
- Wastewater 18th ed.; Washington, APHA, AWWA, JWPCF.
- Yanko, 1988. Se ha comprobado que la sobrevivencia de Campylobacter en el proceso de compostaje es prácticamente nula.

XI. ANEXO 1

Viernes 1 de febrero de 2013

DIARIO OFICIAL

(Primera Sección)

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE

Y RECURSOS NATURALES

NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuales están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CUAUHTEMOC OCHOA FERNANDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 Bis fracción IV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 7 fracción V, 20, 28 fracción III, 30 y 32 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43 y 47, fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 12, 13 y 17 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 1 y 8 fracciones III, IV y V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONSIDERANDOS

Que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos establece como instrumentos regulatorios de política ambiental a los Planes de Manejo, los cuales inducen a los Productores, Exportadores, Importadores y Distribuidores de productos a tomar acciones encaminadas a maximizar el aprovechamiento y la valorización de los residuos con base en estrategias y acciones que deberán ser técnica, ambiental, económicamente factibles y socialmente aceptables.

Que entre las facultades que le fueron conferidas a la Federación, está la competencia de expedir las Normas Oficiales Mexicanas que establezcan los criterios para determinar qué residuos estarán sujetos a Planes de Manejo, que incluyan los Listados de éstos, y que especifiquen los procedimientos a seguir en el establecimiento de dichos planes.

Que los modelos lineales de producción y consumo actuales provocan una mayor generación de residuos, los cuales de no ser valorizados, requerirán de un sitio de disposición final donde ser desechados una vez que termina su vida útil.

Que algunos de los Residuos de Manejo Especial pueden recuperarse, ya sea como materia prima para procesos de manufactura o aprovechamiento energético, sin embargo en la actualidad sólo un pequeño porcentaje de los mismos se recupera y aprovecha.

Que, al no valorizar o aprovechar los Residuos de Manejo Especial que pueden ser sujetos a ello, éstos se envían a los sitios de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos, reduciendo su vida útil y aumentando la necesidad de abrir nuevos sitios para la disposición final de los residuos.

Que a través de la aplicación de la presente Norma Oficial Mexicana, se puede incrementar el aprovechamiento de los Residuos de Manejo Especial y tener los beneficios ambientales, económicos y sociales correspondientes, toda vez que un Plan de Manejo es un instrumento a través del cual se busca minimizar la generación y maximizar el aprovechamiento de los residuos en los que se aplica, por lo que al lograr su implementación se incrementaría la cantidad de residuos aprovechados, y como consecuencia se disminuye la carga sobre los recursos naturales y sobre la vida útil de los sitios de disposición final donde se disponen.

Que en cumplimiento a lo establecido en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con fecha 22 de agosto de 2011 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, con carácter de proyecto la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo, con el fin de que dentro de los 60 días naturales siguientes a su publicación, los interesados presentaran sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sito en bulevar Adolfo Ruiz Cortines número 4209, piso 5o., colonia Jardines en la Montaña,

código postal 14210, Delegación Tlalpan, Distrito Federal o se enviaron al correo electrónico cesar.chavez@semarnat.gob.mx o al fax 56 28 08 98.

Durante el citado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente estuvo a disposición del público en general para su consulta en el citado domicilio, de conformidad con el artículo 45 del citado ordenamiento.

Que de acuerdo con lo establecido en el artículo 47 fracciones II y III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo, los cuales fueron aprobados por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, realizándose las modificaciones procedentes al proyecto; las respuestas a los comentarios y modificaciones antes citados fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de enero de 2013.

Que una vez cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión de fecha 23 de noviembre de 2012; aprobó la presente Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011.

Por lo expuesto, he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-161-SEMARNAT-2011, QUE ESTABLECE LOS CRITERIOS PARA CLASIFICAR A LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL Y DETERMINAR CUALES ESTAN SUJETOS A PLAN DE MANEJO; EL LISTADO DE LOS MISMOS, EL PROCEDIMIENTO PARA LA INCLUSION O EXCLUSION A DICHO LISTADO; ASI COMO LOS ELEMENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA FORMULACION DE LOS PLANES DE MANEJO

PREFACIO

Esta Norma Oficial Mexicana fue elaborada con la participación de los siguientes organismos, bajo la coordinación del Subcomité IV de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico, del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales:

COOPERACION ALEMANA AL DESARROLLO/DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) GMBH

ALIANZA UNIDOS AMIGOS DEL MEDIO AMBIENTE, A.C.
AMBIEN, SOLUCIONES ECOLOGICAS
ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA, A.C. (ANIQ)
ASOCIACION NACIONAL DE TIENDAS DE AUTOSERVICIO Y DEPARTAMENTALES, A.C. (ANTAD) CAMARA NACIONAL DE LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (CNIP)

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA ELECTRONICA, DE TELECOMUNICACIONES Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION (CANIETI)

CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)
CONCRETOS RECICLADOS, S.A. DE C.V.
CRISTINA CORTINAS DE NAVA, CONSULTORA AMBIENTAL
ECOLOGIA Y COMPROMISO EMPRESARIAL, A.C. (ECOCE)

INSTITUTO DE SEGURIDAD Y SERVICIOS SOCIALES DE LOS TRABAJADORES DEL ESTADO (ISSSTE) PETROLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS PROACTIVA

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT)
SERVICIOS Y PROYECTOS EN INGENIERIA AMBIENTAL, S.A. DE C.V. (SEPIASA)
SUSTENTA
ESTADO DE HIDALGO

INDICE

1. Introducción
2. Objetivo
3. Campo de Aplicación
4. Referencias
5. Definiciones
6. Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial
7. Criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial sujetos a Plan de Manejo
8. Procedimiento para la inclusión o exclusión de residuos al Listado de residuos sujetos a Plan de Manejo
9. Elementos para la formulación de los Planes de Manejo
10. Procedimientos aplicables en esta Norma

11. Concordancia con Normas Internacionales
12. Bibliografía
13. Vigilancia Transitorios

Anexo Normativo. Listado de Residuos de Manejo Especial sujetos a presentar Plan de Manejo

1. Introducción

Gran parte de los residuos que se generan en los procesos industriales, y actividades comerciales y de servicios, como subproductos no deseados o como productos fuera de especificación, son Residuos de Manejo Especial. Incorporados a tales residuos, se generan residuos derivados del consumo, operación y mantenimiento de las demás áreas que forman parte de las instalaciones industriales, comerciales y de servicios, como oficinas, comedores, sanitarios y mantenimiento, los cuales por sus características se consideran como Residuos Sólidos Urbanos, pero que por sus volúmenes de generación superiores a 10 toneladas por año o su equivalente en otras unidades, se convierten en Residuos de Manejo Especial.

Refiriéndonos a la última etapa del manejo de residuos, se observa que al recibir en los sitios de disposición final una gran cantidad de Residuos de Manejo Especial, se provoca que éstos se acumulen rápidamente junto con los Sólidos Urbanos y la vida útil de dichos sitios de disposición, terminen en un tiempo menor al proyectado, esto es de particular importancia cuando se tienen Rellenos Sanitarios que cumplen con la NOM-083-SEMARNAT-2003 ya que esta reducción en la vida útil ocasiona la necesidad de localizar un nuevo sitio que cumpla con lo indicado en la mencionada norma, aspecto que cada vez es más difícil de encontrar.

Por lo que una de las principales contribuciones que se persigue con la presente Norma es el de controlar y reducir significativamente cada una de las problemáticas vistas en los puntos anteriores, mediante la elaboración, desarrollo y aplicación de los Planes de Manejo para los Residuos de Manejo Especial.

2. Objetivo

La presente Norma Oficial Mexicana tiene los siguientes objetivos:

2.1 Establecer los criterios que deberán considerar las Entidades Federativas y sus Municipios para solicitar a la Secretaría la inclusión de otros Residuos de Manejo Especial, de conformidad con la fracción IX del artículo 19 de la Ley.

2.2 Establecer los criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial que estarán sujetos a Plan de Manejo y el Listado de los mismos.

2.3 Establecer los criterios que deberán considerar las Entidades Federativas y sus Municipios para solicitar a la Secretaría la inclusión o exclusión del Listado de los Residuos de Manejo Especial sujetos a un Plan de Manejo.

2.4 Establecer los elementos y procedimientos para la elaboración e implementación de los Planes de Manejo de Residuos de Manejo Especial.

2.5 Establecer los procedimientos para que las Entidades Federativas y sus Municipios soliciten la inclusión o exclusión de Residuos de Manejo Especial del Listado de la presente Norma.

3. Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para: 3.1 Los grandes generadores de Residuos de Manejo Especial. 3.2 Los grandes generadores de Residuos Sólidos Urbanos.

3.3 Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores, comercializadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en Residuos de Manejo Especial sujetos a un Plan de Manejo.

3.4 Las Entidades Federativas que intervengan en los procesos establecidos en la presente Norma. Quedan excluidos los generadores de residuos provenientes de la Industria Minero-Metalúrgica, de

conformidad con los artículos 17 de la Ley y 33 de su Reglamento.

4. Referencias

Para la correcta utilización de esta Norma Oficial Mexicana es necesario consultar las Normas Oficiales Mexicanas siguientes o las que las sustituyan:

4.1 Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental- Lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003.

4.2 Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006.

4.3 Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental-Salud ambiental- Residuos peligrosos biológico-Infeciosos-Clasificación y especificaciones de manejo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 2003.

5. Definiciones

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana se considerarán las definiciones contenidas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y las siguientes:

5.1 Características domiciliarias

Son las características físicas, químicas y de cantidad que presentan los residuos generados en casas habitación. No deben ser los generados en casas habitación y que resulten de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, los productos que consumen y de sus envases, embalajes y empaques.

5.2 Estudio técnico-económico

Estudio realizado a un residuo o a una corriente de Residuos de Manejo Especial, generado en una o más.

Entidades Federativas que identifique:

1. El número de generadores, que hagan posible que el manejo específico y coordinado del residuo permita fomentar o establecer los mecanismos para incrementar su valorización y aprovechamiento.
2. Los problemas ambientales asociados al residuo y que a través del manejo específico y coordinado con los diversos sectores involucrados, se minimicen dichos problemas.
3. Las opciones técnicas, financieras y sociales disponibles para mejorar el manejo, basado en esquemas de minimización, reutilización, reciclaje y/o valorización del residuo.
4. La factibilidad técnica, ambiental, social y económica para mejorar su manejo o facilitar su aprovechamiento.

5.3 Ley

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

5.4 Reglamento

El Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 5.5 Secretaría

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

6. Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial

Para que las Entidades Federativas soliciten la clasificación de manejo especial para uno o varios residuos, se deberá cumplir con el criterio establecido en el 6.1 ó 6.2, pero invariablemente deberá cumplirse con el criterio establecido en el 6.3.

6.1 Que se generen en cualquier actividad relacionada con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnan características domiciliarias o no posean alguna de las características de peligrosidad en los términos de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005,

6.2 Que sea un Residuo Sólido Urbano generado por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.

6.3 Que sea un residuo, incluido en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos de una o más Entidades Federativas, o en un Estudio Técnico-Económico.

7. Criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial sujetos a Plan de Manejo

Para que un Residuo de Manejo Especial se encuentre sujeto a un Plan de Manejo, deberá estar listado en la presente Norma.

Para que un nuevo Residuo de Manejo Especial se pueda incluir en el mencionado Listado, deberá cumplir con el criterio señalado en el inciso 7.1 y con alguno de los criterios señalados en los incisos 7.2 ó 7.3.

7.1 Que, con base en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos, o en un Estudio Técnico-Económico, se demuestre que se cuenta con la infraestructura necesaria para manejar el residuo, y que, por sus características y

cantidad generada, se requiera facilitar su gestión o mejorar su manejo en todo el país;

7.2 Que se trate de un residuo de alto volumen de generación, lo que implica que el residuo generado represente al menos el 10% del total de los Residuos de Manejo Especial, incluidos en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos; únicamente para efectos del cálculo anterior no se considerarán los residuos de la construcción; y que sea generado por un número reducido de generadores, esto es, que el 80% del mismo, sea generado por el 20% o menos, de los generadores;

7.3 Que el residuo como tal o los materiales que lo componen tengan un alto valor económico para el generador o para un tercero, es decir, que genere un beneficio en su manejo integral, a través de la reducción de costos para el generador o que sea rentable para el generador o para el tercero, con base en las posibilidades técnicas y económicas del residuo para:

1. Su aprovechamiento mediante su reutilización, reciclado o recuperación de materiales secundarios o de energía;
2. Su valorización o co-procesamiento a través de su venta o traslado a un tercero, o
3. La recuperación de sus componentes, compuestos o sustancias.

8. Procedimiento para la inclusión o exclusión de residuos al listado de residuos sujetos a Plan de Manejo

Para que una Entidad Federativa pueda solicitar la inclusión de un Residuo de Manejo Especial dentro del Listado de residuos sujetos a Plan de Manejo, deberá de cumplir con los criterios establecidos en el apartado 7.

Cuando la Secretaría disponga de 2 o más solicitudes por parte de las Entidades Federativas para mejorar el control o aprovechamiento de un residuo específico, a través de los Planes de Manejo; podrá iniciar el proceso de modificación del Listado conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Para que un Residuo de Manejo Especial sea excluido del referido Listado, además de no cumplir con los criterios del apartado 7, no deberá ser de interés para las Entidades Federativas referente a su control o aprovechamiento, a través de los Planes de Manejo.

Para lo anterior, la Secretaría establecerá el procedimiento a través del cual, las Entidades Federativas solicitarán la inclusión o exclusión del Listado, de un Residuo de Manejo Especial en los términos del artículo 19 fracción IX de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

9. Elementos para la formulación de los Planes de Manejo

Para formular y aplicar los Planes de Manejo de los Residuos de Manejo Especial sujetos a ellos se deberá incluir el principio de responsabilidad compartida, según sea el caso, que requiere de la participación conjunta, diferenciada y coordinada de los actores involucrados en la cadena de valor, buscar el manejo integral; evitar el establecer barreras técnicas y económicas innecesarias al comercio, así como considerar los elementos siguientes:

9.1 Elementos Generales

Los elementos generales que debe contener el Plan de Manejo independientemente de su modalidad son:

9.1.1 Información general:

9.1.1.1 Nombre, denominación o razón social del solicitante;

9.1.1.2 Nombre del representante legal;

9.1.1.3 Domicilio para oír y recibir notificaciones;

9.1.1.4 Modalidad del Plan de Manejo y su ámbito de aplicación territorial;

9.1.1.5 Residuo(s) objeto del plan;

9.1.2 Diagnóstico del Residuo:

9.1.2.1 Para los Residuos de Manejo Especial generados en la actividad productiva, el diagnóstico deberá contener únicamente la cantidad de residuos generados expresado en toneladas por día o kilogramos por día;

9.1.2.2 Para productos de consumo que al desecharse se convierten en Residuos de Manejo Especial el diagnóstico deberá contener la cantidad generada o estimada del residuo e identificación de sus fuentes potenciales de generación; y además podrá contener:

9.1.2.2.1 Principales materiales que componen el residuo;

9.1.2.2.2 Manejo actual del residuo;

9.1.2.2.3 Problemática ambiental, asociada al manejo actual del residuo;

9.1.2.2.4 Identificación del uso o aprovechamiento potencial del residuo en otras actividades productivas;

9.1.3 Formas de manejo integral propuestas para el residuo;

9.1.4 Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo;

9.1.5 Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional;

9.1.6 Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los

mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo;

9.1.7 De ser aplicable, especificar los participantes del plan y su actividad;

9.1.8 De ser aplicable indicar los mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general. 9.2 Elementos Adicionales

Los elementos adicionales que se consideren para la elaboración de los Planes de Manejo, atenderán a una o más de las modalidades establecidas en el artículo 16 del Reglamento, de acuerdo con lo siguiente:

9.2.1 Privados

9.2.1.1 Descripción de la Infraestructura interna y externa involucrada;

9.2.1.2 De ser aplicable, descripción de las estrategias de prevención y minimización, que pueden ser:

9.2.1.2.1 Sustitución de materias primas;

9.2.1.2.2 Cambio de tecnología, o

9.2.1.2.3 Aplicación de mejores prácticas.

Todas las estrategias propuestas deben ser viables en términos técnicos, económicos y ambientales, así como las etapas y necesidades para la programación, implementación y operación del Plan de Manejo.

9.2.2. Mixtos

9.2.2.1 Identificar las acciones de participación en el ámbito de sus respectivas competencias, de

las autoridades, Federal, Estatal o Municipal y del sujeto obligado para la aplicación del Plan de Manejo;

9.2.2.2 En su caso, descripción de los mecanismos de adhesión al Plan de Manejo;

9.2.2.3 Elaborar y firmar un convenio Marco que permita dar certidumbre a los acuerdos alcanzados en el desarrollo del Plan de Manejo.

9.2.3 Individuales

Los Planes de Manejo individuales deberán contener únicamente los elementos generales descritos en el

numeral 9.1 y, en su caso, los del 9.2.1.

9.2.4 Colectivos

9.2.4.1 Identificar las acciones de participación de cada uno de los involucrados para la aplicación del Plan de Manejo.

9.2.4.2 En su caso, descripción de los mecanismos de adhesión al Plan de Manejo.

9.2.4.3 En su caso, definir las estrategias para difundir y comunicar a los consumidores, las sugerencias y posibilidades existentes para prevenir y minimizar la generación del residuo sujeto a Plan de Manejo, así como las formas adecuadas para manejarlos, valorizarlos o acopiarlo.

9.2.4.4 Elaborar y firmar un Convenio Marco que permita dar certidumbre a los acuerdos alcanzados en el desarrollo del Plan de Manejo.

10. Procedimientos aplicables en esta norma

10.1 La Secretaría, las Entidades Federativas y sus Municipios de común acuerdo determinarán nuevas categorías de Residuos de Manejo Especial, de conformidad con la fracción IX del artículo 19 de la Ley y con los criterios del punto 6 de esta Norma, mismas que se publicarán en el Diario Oficial de la Federación.

10.2 La Secretaría deberá cumplir con lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización sobre el procedimiento para modificación de Normas Oficiales Mexicanas, para la inclusión o exclusión de un Residuo de Manejo Especial al Listado de los residuos sujetos a Plan de Manejo de la presente Norma.

10.3 Para la presentación y registro de los Planes de Manejo.

Una vez formulado el Plan de Manejo, deberá presentarse para su conocimiento ante la Entidad Federativa que corresponda al ámbito territorial de implementación, a través de los procedimientos que se expidan para los fines y efectos correspondientes. En el caso de los Planes de Manejo bajo la modalidad nacional y regional, deberán adicionalmente presentarse ante la Secretaría.

Las Entidades Federativas podrán, de conformidad con sus facultades, implementar un registro de los Planes de Manejo presentados por los particulares y hacer dichos planes del conocimiento del público en general, previa autorización del promotor del plan.

10.4. Los sujetos obligados podrán incorporar dos o más residuos Listados en la presente Norma en un mismo plan de manejo.

11. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir Norma Internacional sobre el tema tratado.

12. Bibliografía

12.1 Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, marzo de 2006.

12.2 Ley Federal del Mar. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de enero de 1986.

12.3 Ley Federal sobre Metrología y Normalización.- Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992. Última reforma publicada DOF el 30 de abril de 2009.

12.4 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.- Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003.

12.5 Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004, Que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 12 de julio de 2006.

12.6 Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-011-SMA-RS-2008, Que establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción para el Estado de México. Publicada en la Gaceta del Gobierno del Estado de México el 21 de mayo de 2009.

12.7 Norma Mexicana NMX-Z-013/1-1977, Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas mexicanas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 1977.

12.8 Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.- Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1999.

12.9 SEMARNAT, Guía de cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002.

13. Vigilancia

La vigilancia de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos del Distrito Federal y de los Estados a través de sus Instancias Ambientales de Inspección y Vigilancia, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones y competencias, quienes verificarán la existencia y la presentación del Plan de Manejo.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- La presente Norma entrará en vigor a los 180 días naturales contados a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.- Los Programas o Planes de Manejo en operación previo a la emisión del Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos y la presente Norma, así como los Planes de Manejo de aplicación nacional reconocidos por la Secretaría, podrán ser automáticamente registrados por las Entidades Federativas.

TERCERO.- Los programas voluntarios de manejo que se implementen para aquellos Residuos de Manejo Especial no sujetos a un Plan de Manejo, podrán formularse de conformidad con los elementos y procedimientos contenidos en la presente Norma.

CUARTO.- Una vez que la presente Norma inicie su vigencia en términos de lo señalado en el Transitorio Primero, los sujetos obligados deberán formular y presentar ante la autoridad competente el Plan de Manejo correspondiente, en el cual en adición a los elementos señalados en el apartado nueve e independientemente de su modalidad, podrá establecer la gradualidad para la incorporación de los distintos tipos de residuos a los cuales se encuentran obligados, en un plazo máximo de cinco años a partir de su presentación.

QUINTO.- Una vez que la presente Norma inicie su vigencia en términos de lo señalado en el Transitorio Primero, la Secretaría deberán formular y presentar ante las Entidades Federativas el procedimiento para la inclusión o exclusión de residuos al Listado de Residuos sujetos a Plan de Manejo señalados en los apartados ocho y diez inciso tres, en un plazo máximo de un año.

México, Distrito Federal, a los once días del mes de enero de dos mil trece.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Cuauhtémoc Ochoa Fernández.- Rúbrica.

ANEXO NORMATIVO

LISTADO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL SUJETOS A PRESENTAR PLAN DE MANEJO

El Listado de los Residuos de Manejo Especial sujetos a Plan de Manejo se indica a continuación:

I. Los siguientes residuos de servicios de salud, generados por un gran generador en centros médico- asistenciales:

- Papel y cartón
- Ropa clínica, ropa de cama y colchones
- Plásticos
- Madera
- Vidrio

II. Los residuos agroplásticos generados por las actividades intensivas agrícolas, silvícolas y forestales.

III. Los residuos orgánicos de las actividades intensivas agrícolas, avícolas, ganaderas y pesqueras.

IV. Los residuos de las actividades de transporte federal, que incluye servicios en los puertos, aeropuertos, centrales camioneras y estaciones de autotransporte y los del transporte público, que incluye a los prestadores de servicio que cuenten con terminales, talleres o estaciones, que se incluyen en la lista siguiente y que se generen por un gran generador en una cantidad mayor a 10 toneladas al año por residuo o su equivalente:

- Envases metálicos.
- Envases y embalajes de papel y cartón.
- Envases de vidrio.
- Envases de tereftalato de polietileno (PET).
- Envases de poliestireno expandido (unicel).
- Bolsas de polietileno.
- Tarimas de madera.
- Neumáticos de desecho.

V. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, a excepción de los indicados en la NOM-052-SEMARNAT-2005:

- Aquellos que se generen por un gran generador en una cantidad mayor a 100 toneladas anuales o su equivalente.

VI. Los residuos de las tiendas departamentales o centros comerciales, incluyendo tiendas de autoservicio, centrales de abasto, mercados públicos y ambulantes, que se incluyen en la lista siguiente y que se generen en una cantidad mayor a 10 toneladas al año por residuo o su equivalente:

- Envases metálicos.
- Envases y embalajes de papel y cartón.
- Envases de vidrio.
- Envases de tereftalato de polietileno (PET).
- Envases de poliestireno expandido (unicel).
- Tarimas de madera.
- Residuos orgánicos.
- Película de polietileno para embalaje.

VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general, que se generen en una obra en una cantidad mayor a 80.

VIII. Los productos que al transcurrir su vida útil se desechan y que se listan a continuación:

a) Residuos tecnológicos de las industrias de la informática y fabricantes de productos electrónicos:

- Computadoras personales de escritorio y sus accesorios.
- Computadoras personales portátiles y sus accesorios.
- Teléfonos celulares.
- Monitores con tubos de rayos catódicos (incluyendo televisores).
- Pantallas de cristal líquido y plasma (incluyendo televisores).
- Reproductores de audio y video portátiles.
- Cables para equipos electrónicos.
- Impresoras, fotocopadoras y multifuncionales.

b) Residuos de fabricantes de vehículos automotores:

- Vehículos al final de su vida útil.

c) Otros que al transcurrir su vida útil requieren de un manejo específico y que sean generados por un gran generador en una cantidad mayor a 10 toneladas por residuo al año:

- Aceite vegetal usado.
- Neumáticos de desecho.
- Envases y embalajes de tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policarbonato (PC).

- Artículos publicitarios en vía pública de tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policarbonato (PC).
- Artículos de promoción de campañas políticas en vía pública de tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policarbonato (PC).
- Envases, embalajes y artículos de madera.
- Envases, embalajes y perfiles de aluminio.
- Envases, embalajes y perfiles de metal ferroso.
- Envases, embalajes y perfiles de metal no ferroso.
- Papel y cartón.
- Vidrio.
- Ropa, recorte y trapo de algodón.
- Ropa, recorte y trapo de fibras sintéticas
- Hule natural y sintético.
- Envase de multilaminados de varios materiales.
- Refrigeradores.
- Aire acondicionado.
- Lavadoras.
- Secadoras.
- Hornos de microondas.