

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**COMPOSTEO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES,
PROVENIENTES DE LOS MERCADOS DE TORREÓN, COAHUILA.**

POR:

MARCO ANTONIO JIMÉNEZ GARCÍA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

COMPOSTEO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES,
PROVENIENTES DE LOS MERCADOS DE TORREÓN, COAHUILA.

POR:

MARCO ANTONIO JIMÉNEZ GARCÍA

TESIS

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

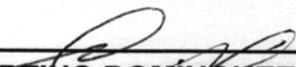
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

COMITÉ PARTICULAR

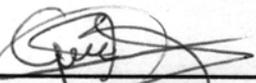
ASESOR
PRINCIPAL:


M.C. EDUARDO BLANCO CONTRERAS

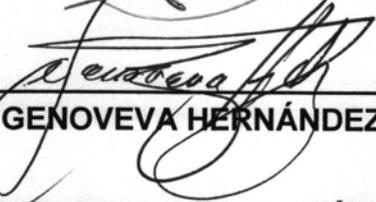
ASESOR:


M.C. FORTINO DOMÍNGUEZ PÉREZ

ASESOR:


M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES

ASESOR:


M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ SAMUDIO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

**COMPOSTEO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES,
PROVENIENTES DE LOS MERCADOS DE TORREÓN, COAHUILA.**

POR:

MARCO ANTONIO JIMÉNEZ GARCÍA

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR

PRESIDENTE:



M.C. EDUARDO BLANCO CONTRERAS

VOCAL:



M.C. FORTINO DOMÍNGUEZ PÉREZ

VOCAL:



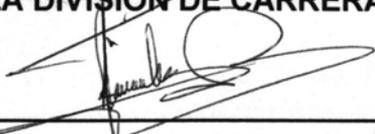
M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES

VOCAL SUPLENTE:



M.C. GENOVEVA HERNÁNDEZ SAMUDIO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



**Coordinación de la División de
Carreras Agrónomicas**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2011

DEDICATORIAS

A mi valiosa madre **Amada García Niño** que dios me regalo, por ser mi gran fortaleza y fue la que me brindo su apoyo económico y moral en todo momento y nunca me dio la espalda al contrario estuvo con migo, gracias madre mía por haber creído en mi, gracias por tus sacrificios por todo lo que has hecho por mí y mis hermanos te amo madre mía.

A mi padre **José Nelfo Jiménez Antonio** por su apoyo moral y económico gracias padre por tus consejos que me brindaste en toda mi carrera.

A **José Nelfo Jiménez García**, al **Ing. Francisco Manolo Jiménez García** y a la **C. P. Mari Cruz Jiménez García** mis grandes hermanos y amigos que dios me regalo por ser mi fuente de apoyo incondicional en todo el trayecto de mi carrera, y de mi vida gracias por sus consejos los amo hermanos de mi alma.

A mi cuñada **Domí** por ser una amiga que me brindo su apoyo incondicional en mi carrera y a mis sobrinos **Luis Eduardo Jiménez García** y **Dadne Odaliz Cruz Jiménez** y los dos que vienen en camino por ser unos angelitos que me dieron ánimo y aliento para seguir y terminar mi carrera los amo tesoritos de mi vida.

A mis abuelos **Bertha Antonio** por los consejos que me brindo cada vacaciones que la visitaba y **Brígida Niño (+)**, **Adelfo Jiménez Lang (+)** y **Belisario García (+)**, que dios me los cuide porque desde el cielo sé que me estuvieron cuidando.

A mi novia y mi amiga **Deysi Ramos Pinto** que me brindo su apoyo incondicional en el trayecto de mi carrera, gracias por tu cariño amor por que yo sé que puedo contar contigo en todo momento te amo cariño.

A **David Cruz Antonio, Esther Jannet Arcos Caceres, Samuel Farías Olivera, Javier López Flores** por ser mis mejores amigos y estuvieron con migo en las buenas y en las malas, gracias por valiosa amistad.

A todos mis compañeros de grupo de la carrera, les agradezco su gran amistad que me ofrecieron, gracias por los momentos de alegría, de tristeza y de miedo que pasamos todos juntos cuídense que dios los bendiga.

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme culminar mis estudios de una forma satisfactoria con buena salud, por darme la fuerza cuando lo necesitaba y no abandonarme y siempre estar con migo en toda ocasión.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme las puertas y por darme la mejor preparación como profesionista a nivel licenciatura.

Al MC. Eduardo Blanco Contreras por su gran amistad que me brindo y la confianza que tuvo en mí para realizar este gran proyecto.

Al MC. Fortino Domínguez Pérez por su valiosa amistad y su gran colaboración en la realización de este proyecto.

Al MC. Gerardo Zapata Sifuentes por su gran amistad y su gran colaboración en la realización de este proyecto.

Al MC. Genoveva Hernández Samudio por su valiosa amistad y colaboración en la realización de este trabajo.

A todos los maestros del departamento de agroecología y demás profesores que me enseñaron cosas nuevas y a ser mejor en mi preparación como profesionista durante todo el periodo de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

	Página
PORTADA.....	i
COMITÉ PARTICULAR	ii
JURADO EXAMINADOR	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Situación de los residuos sólidos municipales en México	4
2.2 Situación de los residuos sólidos en los mercados de Torreón, Coahuila, México	7
2.3 Degradación de los residuos sólidos orgánicos municipales en el proceso de compostaje	8
2.4 Proceso de compostaje.....	9
2.4.1 Definición de composta	9
2.4.2 Funciones de la aireación en el proceso de degradación de la composta	11
2.4.3 Importancia de la humedad en la composta.....	12
2.4.4 Importancia de la temperatura en la composta.....	12
2.4.5 Efecto del pH en el crecimiento de los microorganismos en la composta	13
2.4.6 Tamaño de las partículas de los residuos sólidos municipales para el composteo.....	14
2.4.7 Características de una composta estable en el compostaje de los residuos sólidos orgánicos municipales	14
2.5.1 Importancia de la mineralización de la materia orgánica en la composta	15
2.5.2 Importancia de la relación Carbono: Nitrógeno en la composta.....	15
2.5.3 Calidad de una composta	16
2.6 Suelo.....	16
2.6.1 Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	16

2.6.2	Conductividad eléctrica	17
2.7	Normatividad	17
2.7.1	Normas Oficiales Mexicanas Relativas al Manejo y Disposición Final de Residuos Sólidos	17
2.7.2	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente	18
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1	Ubicación geográfica.....	19
3.2	Localización del experimento	19
3.3	Descripción del experimento	19
3.3.1	Recolección de residuos sólidos orgánicos municipales.....	19
3.3.2	Traslado y selección de material.....	20
3.3.3	Establecimiento del experimento	20
3.4	Diseño experimental	21
3.5	Variables de estudio.....	22
3.5.1	Variables físicas.....	22
3.5.2	Variables químicas	22
3.6	Análisis estadístico.....	24
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1	Temperatura.....	25
4.2	Tiempo de degradación	26
4.3	Porcentaje de materia orgánica	27
4.4	Potencial de hidrogeno (pH).....	29
4.5	Conductividad eléctrica (CE).....	30
4.6	Nitrógeno total.....	31
V.	CONCLUSIÓN	32
VI.	LITERATURA CITADA.....	34
VII.	ANEXOS.....	38

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Descripción de la cantidad de residuos sólidos utilizados para cada repetición.....	20
Cuadro 2. Distribución de las muestras en el diseño experimental completamente aleatorizado.....	21
Cuadro 3. Descripción de las cantidades de agua aplicados por cada Tratamiento.....	21
Cuadro 4. Comparación de medias para el Tiempo de degradación en el composteo de RSM.....	27
Cuadro 5. Comparación de medias para el porcentaje de materia orgánica en el composteo de RSM.....	28
Cuadro 6. Comparación de medias para el Potencial de hidrogeno en el composteo de RSM.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Paginas
Figura 1. Generación promedio de Residuos Sólidos Municipales en los distintos locales encuestados según su giro comercial.....	7
Figura 2. Composición de los residuos sólidos en el mercado Benito Juárez de Torreón, Coahuila.....	8
Figura 3. Temperatura promedio registrada en el proceso de composteo de residuos sólidos municipales.....	25
Figura 4. Tiempo de degradación promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.....	26
Figura 5. Porcentaje de materia orgánica promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.....	28
Figura 6. Potencial de hidrogeno promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.....	29
Figura 7. Conductividad eléctrica promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.....	30
Figura 8. Porciento de Nitrógeno total promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.....	31

RESUMEN

Los residuos sólidos orgánicos municipales son considerados como uno de los factores importantes de contaminación ambiental. Por eso, en este trabajo, se estableció el objetivo de producir un abono orgánico a partir de los residuos sólidos municipales que se originan en los mercados. Se utilizó el método de composteo que consiste en el aprovechar el auto-calentamiento para la degradación de la materia orgánica. Se trabajó en un experimento con cuatro tratamientos y tres repeticiones a diferente dosis de agua, ocupando 50 kilogramos de residuos por muestra del mercado abastos de la ciudad de Torreón, Coahuila. También se determinaron la temperatura, tiempo de degradación, Mo, pH, CE, y Nitrógeno total. Los resultados muestran una temperatura promedio de 34.06 °C favorable en el T-3, con tres litros de agua; un menor tiempo de degradación en el T-4, con mayor volumen de agua y un valor nutritivo en T-4, con 15.67% de M. O. El pH osciló entre los valores 7.63 y 7.86. Para el caso de la CE el T-2 es considerado la mejor respuesta con 1.446 y en cuanto al nitrógeno total se obtuvo un valor promedio de 0.8038 %, en este sentido la hipótesis se acepta puesto que al aplicarle mayor humedad se acelera rápidamente la degradación de los residuos en la composta. Por lo cual se concluye que el T-2 presentó la mejor respuesta, aunque no los valores más altos de fertilidad, al considerar su posible efecto en la salinidad, con una (CE) menor.

Palabras claves: composta, degradación, fertilidad, salinidad, residuo municipal.

ABSTRACT

Organic municipal solid waste are considered as one of the important factors of environmental pollution. So, the object of this work was to produce organic fertilizer from municipal solid that are derivated in supermarkets. A compoisting method was used in this research, which consisted to the self-heating advantage of the organic matter degradation. A randomize complete design was used in this study with four treatments and three replications at different rates of water. Waste samples of 50 kg each one were collected from Mercado de Abastos de Torreon, Coah. and analyzed for temperature, degradation time of organic matter, pH, electral conductivity (EC) and total Nitrogen content. Results show that treatment three had a favorable average temperature, 34.06° C with 3 lts. of water, while treatment four had less time of degradation with more volume of water and nutritive value, 15.67% of organic matter. Results of CE show that treatment two had the best response, 1.446 ppm. Total Nitrogen had an average value of 0.8038 %, in this sense; the hypothesis is accepted since applying more moisture quickly accelerates the degradation of waste compost. Therefore, it is concluded that treatment two had the best reply in EC and total nitrogen content.

Keywords: compost, degradiation, fertility, salinity, municipal waste.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) en nuestro país representa un grave problema de contaminación ambiental. Debido al crecimiento de la población no solo del país si no del mundo. Que ha sido acelerado en los últimos años, este crecimiento ha generado un aumento en la producción de residuos sólidos, registrándose un crecimiento exponencial de estos con respecto a la población (Sauri y Castillo, 2002; Altamirano y Cabrera, 2006). Esto puede repercutir en la disminución de la calidad de vida de los habitantes con un creciente impacto ambiental (Buenrostro e Israde, 2003).

Los residuos sólidos municipales pueden ser tratados por el proceso de composteo y reutilizarse como composta. La composta se emplea en la agricultura, como mejorador de suelos. Sin embargo, también puede usarse en la remoción de contaminantes. Entre los contaminantes que pueden ser biodegradados se encuentran algunos hidrocarburos y plaguicidas (Sauri y Castillo, 2002).

El manejo de los desechos; mejora los parámetros de salud de la gente a través de generación de menores niveles de contaminación; y promoción de modelos de aprovechamientos que demuestren que no es necesario llevar todos los desechos municipales a rellenos sanitarios sino aprovecharlos como compostas (Abubacar *et al.* 2008). El reciclado de estos residuos mediante el compostaje es una alternativa sustentable de manejo, para la transformación de dichos restos orgánicos en compuestos relativamente estables (Martínez *et al.* 2008).

El compostaje es una forma de manejo de los desechos sólidos, en donde los componentes orgánicos de estos productos son biológicamente descompuestos, dicho proceso acontece la transformación microbiana de la materia orgánica bajo condiciones controladas hasta convertirlo en un material húmico, que beneficia por que ayuda a resolver el problema de la basura y sus costos, por otra parte es una forma muy económica de producir abono natural de excelente calidad que es un fertilizante y generador de suelos para la producción agrícola (Llaven, 2009; Artavia *et al.* 2010). Ya que el proceso de compostaje es un desarrollo microbiano cambiante producido por las actividades de una sucesión de varios grupos de microorganismos, cada uno apropiado a determinadas condiciones y durante un tiempo establecido. La degradación de los sólidos orgánicos por medio de la respiración aeróbica reduce el volumen y la masa con una volatilización de dióxido de carbono (CO²), eliminando los lugares de reproducción de insectos, plagas, y patógenos, con el consiguiente beneficio en la higiene pública (Hernández *et al.* 2009).

El Municipio de Torreón ha tenido un crecimiento poblacional y económico muy importante en las últimas décadas, motivo por el que la disposición final de los residuos sólidos de los mercados es el relleno sanitario ubicado en el km 31 sobre la carretera Torreón - Matamoros (SUSTENTA, 2009). Por lo tanto en el presente trabajo se pretende obtener dar un mejor manejo a los residuos generados en los mercados, como es el caso de la elaboración de compostas.

1.1 Objetivo

Producir abono orgánico, de calidad a partir de los residuos sólidos municipales y determinando su tiempo de degradación bajo condiciones de humedad.

1.2 Hipótesis

H_0 Los residuos sólidos municipales provenientes de mercados se desintegran muy rápido en condiciones de humedad alta.

H_1 Los residuos sólidos municipales provenientes de mercados no se desintegran rápido en condiciones de humedad alta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación de los residuos sólidos municipales en México

Los residuos sólidos municipales (RSM), han sido reconocidos como uno de los principales contaminantes del ambiente. En México se calcula una generación anual nacional de 97, 149, 919 toneladas, de las cuales el 27.6 % corresponden a residuos de alimentos y el 15.0 % a residuos de jardinería, por lo cual se puede aseverar que 41'385,865.5 ton/año (42.6 %) son materiales orgánicos (Sauri y Castillo, 2002). Este problema se presenta desde la separación, transporte, almacenamiento, tratamiento, y la inadecuada disposición final de las autoridades competentes y los ciudadanos irresponsables, el problema no radica solamente en la cantidad sino también en la calidad o composición de los residuos, los factores que influyen en la generación de los residuos sólidos municipales es la falta de educación sanitaria y participación comunitaria que han conducido a esta situación de manejo escaso e inadecuado de los residuos sólidos municipales (Dicent, 2005; Puerta, 2004). Sin embargo, el composteo es un proceso de fermentación aerobia en fase sólida en el que se aprovecha el fenómeno de "autocalentamiento" de las diferentes poblaciones microbianas nativas que se suceden para la biodegradación total o parcial de la materia orgánica, bajo condiciones controladas, con el objeto de obtener un producto estable denominado composta (García y González, 2005).

La disposición de este tipo de residuos en rellenos sanitarios o mediante la incineración puede crear problemas ambientales (Widman *et al.* 2005). Motivo por el cual, la agroecología como una disciplina que puede contribuir más favorablemente al aumento de la sostenibilidad de los agroecosistemas y de la base de los recursos naturales (Ruiz, 2006). Difundiendo la importancia de la composta de residuos sólidos orgánicos municipales, ya que el material resultante puede contrarrestar el efecto progresivo de empobrecimiento de suelos causada por el decremento del contenido de materia orgánica en los suelos intensivamente cultivados. Por lo que varios autores han comprobado que la composta de residuos sólidos orgánicos municipales puede mejorar las propiedades físicas de suelos agrícolas (Crespo *et al.* 2006). De manera que la degradación dentro del proceso de compostaje se logra mediante la oxidación de los residuos por consorcios microbianos productores de enzimas (Rodríguez *et al.* 2006). Este proceso tiene una duración variable, dado por la calidad de los residuos, el tamaño de partícula, disposición del pozo, aireación, humedad y población biológica activa. Teniendo un período de transformación cercano a 170 días aproximadamente (Cariello *et al.* 2007).

El compostaje ayuda a mitigar grandes impactos ambientales de repercusión global, como es el caso del calentamiento global, siendo esta la opción más respetuosa con el ambiente si se compara con tratamientos mecánicos o la incineración y además, el producto generado actúa como un suministro de carbono, que contribuye a la reducción del efecto invernadero (Rosal *et al.* 2007). Ya que la degradación del suelo y la consecuente reducción en la capacidad para proveer alimento a una población creciente, es un tema crítico cuando se considera la seguridad alimentaria

del país (Hernández *et al.* 2009). La composta tiene una doble función; por un lado mejora la estructura del suelo; lo que significa que va poder trabajarse más fácilmente y tendrá una mejor aireación, una adecuada retención de agua y una mejor resistencia a la erosión. Una de las principales tecnologías es el uso de compostas que el propio productor puede elaborar en su unidad de producción, utilizando los materiales que dispone localmente. Esto permitirá tener un mejor manejo y conservación del su suelo, recurso principal de cualquier sistema de producción agropecuaria y forestal (Luna *et al.* 2009).

En Europa y Estados Unidos el compostaje de RSM, se ha convertido en un método viable y económico para su manejo, debido a las ventajas que tiene en comparación con el depósito en los rellenos sanitarios y su incineración, por los costos de operación que son más bajos, menor contaminación ambiental y además el uso como un producto para la agricultura (Crespo *et al.* 2005). La composta obtenida a través de los RSM es utilizado como abono orgánico y pueden ser una opción viable para sustituir el uso de fertilizantes químicos, como fuente de nutrientes para los cultivos (Cerrato *et al.* 2007).

2.2 Situación de los residuos sólidos en los mercados de Torreón, Coahuila, México

Los resultados del estudio de generación de residuos sólidos en Mercados de la ciudad de Torreón, Coahuila realizado por las autoridades del municipio de Torreón, SUSTENTA, Compromiso Empresarial para el Manejo Integral de Residuos Sólidos A.C. en colaboración con la Universidad Iberoamericana - Campus Laguna (UIA) y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (SUSTENTA, 2009). Se muestra en la siguiente grafica.

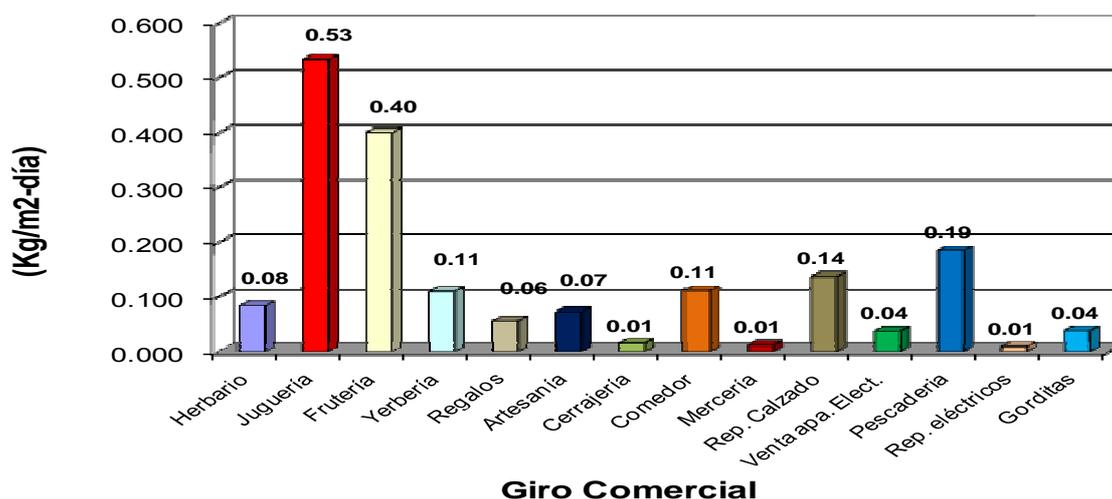


Figura 1. Generación promedio de Residuos Sólidos Municipales en los distintos locales encuestados según su giro comercial.

•Peso Volumétrico

En los mercados de 199.52 kg/m³.

Según los estudios realizados en el municipio de Torreón, indican que la generación en (comercios, industrias, escuelas, mercados, central de abasto, barrido, parques y

jardines) de 148.11 ton/día. Lo que implica una generación de 1.053 kg/hab/día (SUSTENTA, 2009).

Para el caso del mercado analizado, los subproductos reciclables se muestran en la siguiente gráfica.

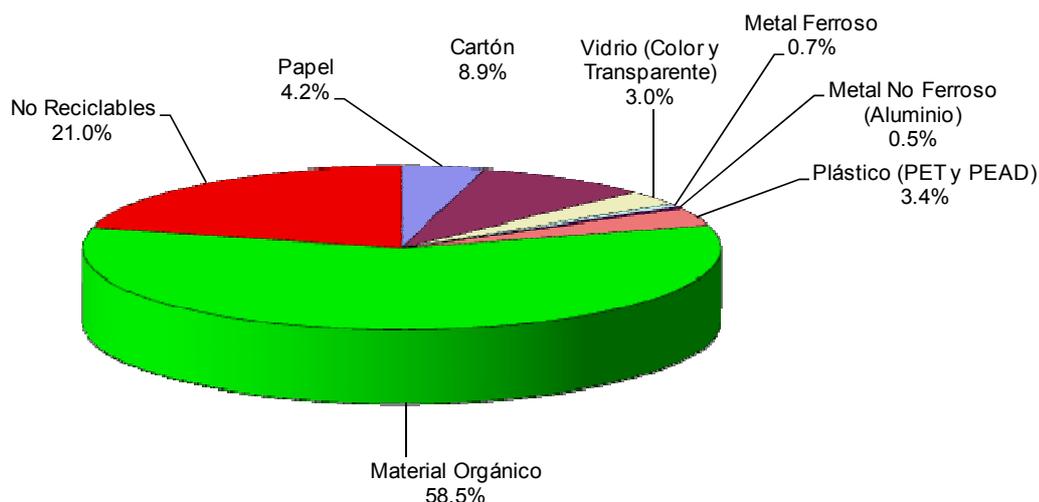


Figura 2. Composición de los residuos sólidos en el mercado Benito Juárez de Torreón, Coahuila.

2.3 Degradación de los residuos sólidos orgánicos municipales en el proceso de compostaje

La descomposición aeróbica requiere de condiciones controladas, particularmente de humedad y aireación, en el cual participan bacterias, hongos y actinomicetes. Dichas poblaciones y actividad microbiana varían en función de los cambios de temperatura, que en el proceso pueden oscilar desde 30-40 °C (fase mesofílica) hasta 70-75 °C (fase termofílica). Aunque el proceso de descomposición de la materia orgánica siguen una misma velocidad de degradación a través del tiempo varían en función de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, aireación),

como también la diversidad de las poblaciones microbianas y la calidad química de los sustratos. Los residuos sólidos orgánicos de los mercados que en su mayoría son restos de vegetales tienen el mismo grupo de sustancias (ceras, grasas, resinas, carbohidratos simples y compuestos, proteínas, ligninas, entre otros); sin embargo, la proporción de éstas en los diferentes materiales es diversa, lo que va a influir en la velocidad de descomposición de los materiales orgánicos cuando son utilizados como materias primas para la fabricación de abonos orgánicos mediante el proceso de compostaje (Mora, 2006).

Habitualmente la descomposición de los residuos orgánicos es un proceso de baja velocidad, sin embargo otros mecanismos de humificación, como el composteo, pueden acelerar dicha velocidad. El composteo frecuentemente es utilizado, para la conversión de la materia orgánica fresca a sustratos, con un alto grado de descomposición, es realizada en un período de tiempo relativamente corto (habitualmente pocos meses). Durante el proceso de composteo, los residuos orgánicos se descomponen bajo la acción de diversos microorganismos y factores ambientales como la humedad (Moreno, 2004).

2.4 Proceso de compostaje

2.4.1 Definición de composta

Es un proceso microbiano producido por las actividades de una sucesión de varios grupos de microorganismos, los cuales, degradan residuos sólidos orgánicos por medio de una respiración aeróbica que reduce el volumen y la masa con una volatilización de dióxido de carbono (CO_2), eliminando los lugares de reproducción

de insectos, plagas y patógenos, con el beneficio en la higiene del material producido (Cabrera *et al.* 2005).

El compostaje es un proceso biológico de oxidación de residuos provocado y controlado por microorganismos del ambiente, en el cual los principales factores que influyen en el compostaje son: la humedad, porosidad, tamaño de partícula, temperatura, naturaleza química del material, microorganismos y tiempo (Martínez *et al.* 2008).

Es una biodegradación aeróbica de compuestos orgánicos, de una manera simple y eficiente de tratar desechos orgánicos para ser transformados en abonos orgánicos en este proceso los microorganismos son los encargados de transformar el material en nuevos productos siempre y cuando las condiciones de humedad y aireación se provean adecuadamente, obteniendo de esta forma un producto estable y libre de microorganismos patógenos que puede ser utilizado como acondicionador de suelos en la agricultura (Berradre *et al.* 2009).

El compostaje es un proceso que permite la producción de un material de interés agrícola y de comercialización viable: la composta, producto que puede tener diversas aplicaciones de interés agrícola como abono, enmienda, sustrato o para la posterior obtención de extractos con probable actividad fungicida (Hernández *et al.* 2009).

La materia orgánica constituye la principal reserva natural de los nutrientes potencialmente asimilables por las plantas. La conservación y el manejo de la misma es la vía más económica para optimizar la nutrición vegetal y desempeña, una

función importante en la fertilidad del suelo. Las enmiendas orgánicas es una medida efectiva cuando está disponible a costos muy bajos o es localmente producida. La mayor dificultad para su empleo radica en la variabilidad de los materiales que se utilizan en su preparación, de lo cual dependen los microorganismos que intervienen en el proceso de descomposición y se ha demostrado que en la Agricultura Urbana haciendo uso sistemático de los abonos orgánicos posibilita una producción con altos rendimientos, sin necesidad de aplicar productos químicos (Puertas e Hidalgo, 2009).

2.4.2 Funciones de la aireación en el proceso de degradación de la composta

La aireación en la composta es imprescindible si es un proceso aerobio, el contenido en oxígeno del aire en la matriz del residuo no debe situarse nunca por debajo del 5 o 7%. Los microorganismos consumen oxígeno durante la degradación del material, ya que es fundamental para mantener las condiciones aerobias. Las funciones básicas en la aireación son las siguientes:

- Suministra el oxígeno necesario que permite la actividad de los microorganismos aerobios.
- Favorece la regulación del exceso de humedad por evaporación.
- Mantiene la temperatura adecuada.

La aireación se relaciona con la temperatura, ya que interviene en la generación y en la pérdida de calor de diferentes maneras como son:

-Incrementa la actividad de los microorganismos, lo que genera un desprendimiento de energía y como consecuencia hay un incremento de la temperatura.

- Favorece el enfriamiento al renovar el aire caliente por frío.

- Puede provocar una pérdida excesiva de humedad y frenar el proceso provocado una baja de la temperatura (Barrena, 2006).

2.4.3 Importancia de la humedad en la composta

El contenido en agua del material a compostear es muy importante ya que los microorganismos sólo pueden utilizar las moléculas orgánicas si están disueltas en agua, además el agua favorece la colonización microbiana, si la humedad baja, el proceso de compostaje reduce su velocidad llegando incluso a detenerse. La actividad biológica empieza a disminuir a niveles de humedad del 40%, por debajo del 20% no existe prácticamente actividad, el agua del material disminuye a lo largo del proceso a causa del calor generado por el propio proceso, este es un indicador del funcionamiento del proceso, aunque durante el proceso se ha de mantener una humedad adecuada para la supervivencia de los microorganismos, al final del proceso se tiene que conseguir que la humedad haya disminuido lo suficiente para el producto se pueda manejar con facilidad (Barrena, 2006).

2.4.4 Importancia de la temperatura en la composta

El suelo tiene una amplia variedad de formas biológicas, con tamaños muy diferentes como los virus, bacterias, nematodos, hongos, algas, colémbolos, ácaros, lombrices, hormigas, entre otras, algunas realizan funciones de oxidación del amoníaco a nitratos, otras interfieren el proceso de descomposición de materiales, la

temperatura que es un factor importante ya que la actividad metabólica de los organismos se inicia cuando se supera un determinado umbral térmico, aumenta a medida que las temperaturas se elevan hasta un cierto valor máximo y finalmente se reduce rápidamente cuando las temperaturas superan este valor (Julca *et al.* 2006).

La temperatura es un indicador del funcionamiento del proceso del compostaje, el incremento de la actividad biológica genera calor, lo que provoca incremento de la temperatura, al inicio indica la presencia de materiales muy degradables y unas condiciones adecuadas de trabajo, mostrando el desarrollo correcto del proceso. Las moléculas orgánicas contienen energía almacenada que se libera cuando la molécula se degrada y se transforma en otras más sencillas, los cambios de temperatura durante la evolución del proceso proporcionan información directa del funcionamiento del mismo (Barrena, 2006).

2.4.5 Efecto del pH en el crecimiento de los microorganismos en la composta

El compostaje es un proceso microbiológico donde los resultados se dan por efecto combinado de la actividad individual de una gran cantidad de microorganismos, es de suma importancia entender la influencia del medio ambiente sobre los microorganismos, porque permite explicar cómo se distribuye, se controlan y se aumentan, los parámetros más importantes son: temperatura, oxígeno, humedad, pH y composición del sustrato, los cambios en el pH durante el proceso se deben a los cambios constantes en la composición química del sustrato (Castrillón *et al.* 2006).

En el cual se divide en tres etapas las cuales son:

- Carbónico es cuando se empieza la descomposición de los carbohidratos y se libera el dióxido de carbono (CO_2) que se puede escapar a la atmósfera, tiende a neutralizar el pH (7.0).
- El segundo es amoníaco (NH_3), que es cuando se descomponen las proteínas y se libera el amonio razón por la cual el pH tiende a incrementar hasta valores cercanos a 9.24.
- La tercera etapa está compuesto por varios ácidos orgánicos como son el ácido acético y el ácido láctico, esto reduce el pH a 4.14.

Estas tres etapas se combinan para formar la curva típica del pH del compostaje, donde se presenta un descenso en la fase inicial, y un aumento en la fase de máxima actividad y luego la tendencia de estabilización (Castrillón *et al.* 2006).

2.4.6 Tamaño de las partículas de los residuos sólidos municipales para el composteo

Los residuos de vegetales provenientes de mercado son los únicos que sufren trituración a pequeña y gran escala, una vez que se han separado de los contaminantes no biodegradables, estos pueden ser reducidos a un diámetro medio de 10 mm, lo cual es muy favorable para efectuar el proceso de compostaje (Castro, 2004).

2.4.7 Características de una composta estable en el compostaje de los residuos sólidos orgánicos municipales

La estabilización de los residuos mediante el composteo produce el material conocido como composta, el cual es empleado principalmente en la agricultura. La composta debe de estar libre de patógenos y sustancias fitotóxicas que interfieren

en el desarrollo de las plantas es decir, debe de estar lo suficientemente madura para ser compatible con los usos en esta actividad, al alcanzar la composta su madurez, los materiales dejan de producir olores, pudiendo almacenarse sin problema alguno (Sauri *et al.* 2002).

La estabilidad y madurez del compost han sido estudiadas como factores influyentes que suprimen las enfermedades, la estabilidad está relacionada con el grado de descomposición de la materia orgánica y puede ser expresada como una función de la actividad microbiana en el compost, la madurez se refiere al grado de descomposición de los compuestos fitotóxicos orgánicos producidos durante las fases de composteo (Artavia *et al.* 2010).

2.5 Mineralización de la materia orgánica

2.5.1 Importancia de la mineralización de la materia orgánica en la composta

La mineralización de la materia orgánica es un factor de suma importancia en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, puesto que a través de este proceso se reciclan nutrimentos como nitrógeno, fósforo, azufre y dióxido de carbono, este proceso influyen el clima, la mineralogía de las arcillas, el estado de los nutrimentos del suelo, la actividad de la biota edáfica y la calidad de los recursos en descomposición (León *et al.* 2006).

2.5.2 Importancia de la relación Carbono: Nitrógeno en la composta

La relación carbono: nitrógeno (C:N) es un factor importante en el proceso de mineralización de un abono orgánico, ya que los contenidos de C y N son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos, éstos necesitan C como

fuerza de energía y, el N, para la síntesis de proteínas y estructuras celulares. Si la relación C:N excede 25, entonces los microorganismos degradarán la materia orgánica si hay suficiente N disponible para ellos en el medio, causando una inmovilización temporal de ese N. Cuando la relación C:N es baja, por la materia orgánica es degradada fácilmente, el N es temporalmente inmovilizado dentro de los microorganismos, pero al morir estos el N será liberado al medio (Cerrato *et al.* 2007).

2.5.3 Calidad de una composta

La calidad final de una composta está influenciada por el tipo de material, por el desarrollo del proceso de compostaje y por la procedencia del material. La calidad de la composta no solamente se ha de encontrar en el producto final, sino también en los controles que se realicen durante el proceso de compostaje, normalmente la calidad de la composta se relaciona más con la ausencia de contaminantes, un aspecto aceptable y un producto de fácil aplicación, rico en contenido de materia orgánica estabilizada y fitonutrientes (Barrena, 2006).

2.6 Suelo

2.6.1 Importancia de la materia orgánica en el suelo

El uso de la materia orgánica se ha convertido en la base para el desarrollo de la agricultura orgánica, en el cual alberga una gran diversidad de procesos, la materia orgánica representa del 95 al 99 % del total del peso seco de los seres vivos, pero su presencia en los suelos suele ser escasa, la materia orgánica del suelo contiene cerca de 5% de nitrógeno total pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes, la

materia orgánica cumple un papel esencial en el suelo, el humus no tiene una definición exacta pero en general la designan como la sustancia orgánica variada, de color pardo y negruzco que resulta de la descomposición de la materia orgánica (Julca *et al.* 2006).

2.6.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un estimador de la concentración total de sales, es la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica que generalmente se expresa en mmhos/cm o en mSiemens/m, es una propiedad que se encuentra muy relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes, su concentración total y relativa, su movilidad, la temperatura del líquido (Carrasco, *et al.* 2007; Sosa, 2009).

2.7 Normatividad

2.7.1 Normas Oficiales Mexicanas Relativas al Manejo y Disposición Final de Residuos Sólidos

Existen diversas normas oficiales mexicanas relativas al manejo y gestión integral de los residuos urbanos y de manejo especial, se mencionan de manera especial las siguientes:

NMX-AA-015-1985; NMX-AA-016-1984; NMX-AA-18-1984; NMX-AA-019-1985; NMX-AA-021-1985; NMX-AA-022-1985; NMX-AA-24-1984; NMX-AA-25-1984; NMX-AA-033-1985; NMX-AA-052-1985; NMX-AA-61-1985; NMX-AA-067-1985; NMX-AA-068-1986; NMX-AA-080-1986; NMX-AA-92-1984; NMX-AA-094-1985; NOM-083-SEMARNAT-2003 y NOM-098-SEMARNAT-2004 (SUSTENTA, 2009).

Estas Normas Oficial Mexicana establece el método que se debe utilizar para los residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis de laboratorio. Establecen el equipo adecuado con el que se debe tratar este residuo y la disposición del producto final para la sociedad (SEMARNAT, 2004).

2.7.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente

Artículo 1º.- Ley reglamentaria de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos que se refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a protección al ambiente en el territorio nacional, siendo de carácter público y social que tiene por objetivo propiciar el desarrollo sostenible que establece bases para:

- Garantizar a toda persona a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.
- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación.
- La prevención, restauración y mejoramiento del ambiente.
- Aprovechamiento sostenible, prevención y en su caso la restauración del suelo el agua y demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas (LGEEPA, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica

El municipio de Torreón se localiza en la parte suroccidental del Estado de Coahuila, en las coordenadas 103°26'33" Longitud Oeste y 25°32'40" Latitud Norte. Limita al Este con los municipios de Matamoros y Viesca, y al Oeste con el Estado de Durango. Su cabecera municipal es la Ciudad de Torreón, la cual se encuentra en la porción Norte del municipio. Se localiza a una distancia aproximada de 265 kilómetros de la Capital del Estado. Tiene una superficie aproximada de 1,947.7 km², cifra que representa el 1.29% de la superficie total del Estado de Coahuila. Con una temperatura media anual de 20 a 22°C y una precipitación media anual de 253 mm/año (SUSTENTA, 2009; Arreola, 2010).

3.2 Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo a un costado de las instalaciones del Departamento de Agroecología, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, desde el mes de Junio hasta Noviembre del 2010.

3.3 Descripción del experimento

3.3.1 Recolección de residuos sólidos orgánicos municipales

El material que se utilizó en el experimento, fue recolectado el día 11 de junio del 2010 directamente de los contenedores del mercado Abastos de la Ciudad de Torreón, Coahuila, para ello se eligieron los contenedores que tuvieran la mayor diversidad de residuos orgánicos existentes. El material fue colectado manualmente en bolsas de plástico para basura.

3.3.2 Traslado y selección de material

El material fue trasladado a las instalaciones de la UAAAN-UL donde posteriormente se separó la materia orgánica e inorgánica. La materia orgánica se mezcló y se tomaron 12 muestras de 50 Kg, obteniendo un peso total de 600 Kg para su composteo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de la cantidad de residuos sólidos utilizados para cada repetición.

Tratamientos	Repeticiones	Residuos sólidos Por repetición (kg)	Residuos sólidos Totales por tratamiento (Kg)
T ₁	3	50	150
T ₂	3	50	150
T ₃	3	50	150
T ₄	3	50	150

Los materiales utilizados para el compostaje fueron residuos de verduras como Repollo, Zanahoria, Acelga, Tomate, Papa, Nopal, Cebolla, Cilantro, Rábano, Betabel, Lechuga y frutas Naranja, Piña, Plátano, Melón, Sandía, Papaya, Mango, Jícama, Limón.

3.3.3 Establecimiento del experimento

Las muestras se colocaron en parcelas directamente al suelo, para ello se trazaron 12 parcelas utilizando una cinta métrica y madera para delimitar el área con un tamaño de 2 m² cada una. Posteriormente se colocaron las muestras haciéndole una breve trituración y humedeciéndolas uniformemente según los niveles de humedad correspondientes, finalmente se taparon con plástico negro.

3.4 Diseño experimental

Se empleo un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. La separación de las filas y columnas fue de 0.40 m, obteniendo un experimento con 12 parcelas, como se muestra en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución de muestras en el diseño experimental completamente aleatorizado.

T₁R₁	T₁R₂	T₁R₃
T₂R₁	T₂R₂	T₂R₃
T₃R₁	T₃R₂	T₃R₃
T₄R₁	T₄R₂	T₄R₃

Los tratamientos se refieren a los niveles de humedad (Cuadro 3) aplicados a la composta, los riegos se aplicaron de forma manual con cubetas aforadas a los volúmenes de agua por aplicar, invariablemente los riegos fueron cada tercer día.

Cuadro 3. Descripción de las cantidades de agua aplicados por cada Tratamiento.

Tratamientos	Descripción (Litros)
T ₁	0
T ₂	1
T ₃	3
T ₄	5

3.5 Variables de estudio

3.5.1 Variables físicas

A) Temperatura

La temperatura se midió utilizando un termómetro digital de la marca CHANEY, se colocó a la mitad de la cama y se tomaron dos lecturas diarias una a las 07:00 hrs y a las 19:00 hrs registrando los datos en la bitácora experimental hasta la maduración de la composta, para luego analizarlos y obtener la temperatura semanal promedio.

B) Tiempo de degradación

El tiempo de degradación se obtuvo registrando el primer día de establecimiento de las parcelas de estudio. Diariamente se tomaba un puño de muestra con la mano protegido con una bolsa sencilla de plástico, con la finalidad de sentir la textura del material y se dejó de hacer el registro el día en cuanto la presencia del olor fétido del residuo desapareció y se tornó un color negro.

3.5.2 Variables químicas

Para el análisis de las características químicas (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total), se determinaron en el laboratorio de suelos del CENIT-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Durango.

C) Materia orgánica (M. O.)

Para esta variable se utilizó 0.5 g de composta seca pasado por un tamiz de 0.5 mm colocando un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se adicionó exactamente 10 ml de dicromato de potasio girando el matraz cuidadosamente para la disolución, se

adicionó con una bureta de 20 ml de H₂SO₄ (ácido sulfúrico) girándose nuevamente el matraz agitándose durante un minuto, se dejó reposar durante 30 minutos sobre la lamina de asbesto, posteriormente se añadió 200 ml de agua destilada, y 5 ml de H₃PO₄ (ácido crómico), en seguida se adicionó de 5 a 10 gotas del indicador de fenilamina y por último se tituló con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta tornarse un color verde claro (NOM-021-SEMARNAT-2000).

D) Potencial de Hidrogeno (pH)

Como primer número se pesó 10 g de composta en un frasco de vidrio, se adicionó 20 ml de agua destilada luego se agitó con una varilla de vidrio manualmente la mezcla de la composta durante 30 minutos, se dejó reposar por 15 minutos, en seguida se calibró el medidor del pH con soluciones reguladores de pH de 4.00 y 7.00 según la composta, agregándole agua destilada antes de iniciar las lecturas de las muestras, luego se agitó la suspensión introduciendo el electrodo y finalmente se registró el pH al momento en que se estabilizó (NOM-021-SEMARNAT-2000).

E) Conductividad Eléctrica (CE)

Esta variable se determinó mediante el conductímetro directamente de los extractos obtenidos de las muestras de compostas. Para ello se lavó y se llenó la celda de conductividad con solución KCL (cloruro de potasio), posteriormente se ajustó el medidor de conductividad eléctrica estándar de la solución KCL, en seguida se lavó y se llenó la celda con el extracto de saturación de la composta y finalmente se leyó la CE del extracto (NOM-021-SEMARNAT-2000).

F) Nitrógeno Total

Primeramente se colocó una muestra de composta tamizada a través de una malla de 60 mm en un frasco micro-Kjeldahl seco, se adicionó 1.1 g de ácido sulfúrico, posteriormente la muestra se embulló a partir del momento en que la muestra se tornó claro. La temperatura se reguló de modo que los vapores del ácido sulfúrico se condensó en el cuello del tubo digestor, en seguida se dejó enfriar el frasco, se agregó suficiente agua y se colocó la suspensión. Se transfirió el contenido del líquido a la cámara de destilación, para ello se lavó el matraz de digestión con pequeñas porciones de agua, y se colocó en el tubo de salida del aparato de digestión un matraz Erlenmeyer de 125 ml contenía 10 ml de ácido ortorbórico, luego se adicionó 10 ml de hidróxido de sodio, se conectó el flujo de vapor e inició la destilación hasta que el volumen alcanzó los 75 ml en el frasco Erlenmeyer, por último se determinó el nitrógeno amoniacal presente en el destilado titulado con el ácido sulfúrico 0.01, usando una microbureta de 10 ml graduado de 0.01 ml, el punto final fue cuando cambió el color de la mezcla que fue de verde a rosado (NOM-021-SEMARNAT-2000).

3.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante el paquete estadístico experimental SAS 6.12 con plataforma para Windows.

Si el nivel de significancia es \geq al 95 % en caso de que exista diferencia significativa se empleó la prueba de medias de Tukey.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Temperatura

La temperatura media semanal más baja registrada fue de 33.39 °C (Figura 3) en el Tratamiento 3 se considera dentro de los rangos, ya que estudios similares de López y Fabelo (2005) registraron temperatura media más baja de 28 °C debajo de los rangos del presente trabajo. El resultado del ANAVA para esta variable no mostró diferencia significativa (Anexo 1). Por otra parte estudios relacionados (Barrena, 2006) muestran temperaturas medias más altas con 45 °C y en el presente trabajo registró una temperatura media semanal de 33.39 °C como se muestra enseguida.

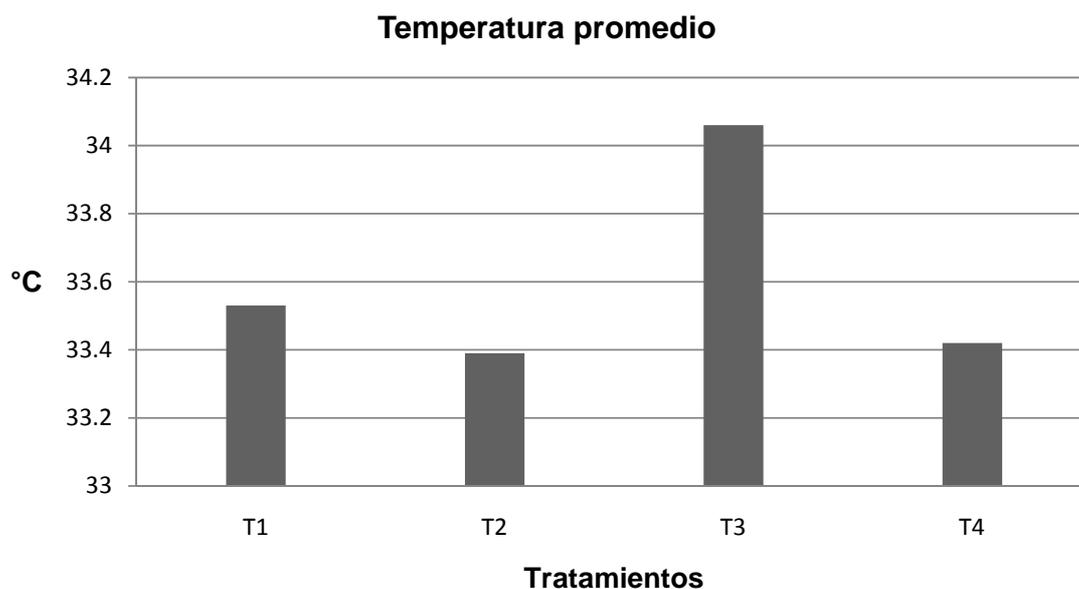


Figura 3. Temperatura promedio registrada en el proceso de composteo de residuos sólidos municipales.

4.2 Tiempo de degradación

La variable del tiempo de degradación vario desde los 44 a los 63 días (Figura 4). El resultado del ANAVA para la variable tiempo de degradación presentó diferencia altamente significativa (Anexo 2). En estudios similares (Sauri, *et al.* 2002) en los que se emplearon 24 Kg de material, el tiempo promedio de degradación fue de 53 días, al considerar la cantidad empleada se observa que en el presente trabajo de investigación el Tratamiento 4 registró 44 días promedio para descomponer el doble de la cantidad, sin embargo, el consumo de agua es ligeramente alto ya que los Tratamientos 2 y 3 presentaron similitudes en cuanto al tiempo en 51 y 52 días respectivamente (figura 4) coincidiendo con los resultados de Sauri y Colaboradores (2002) pero con el doble de material .

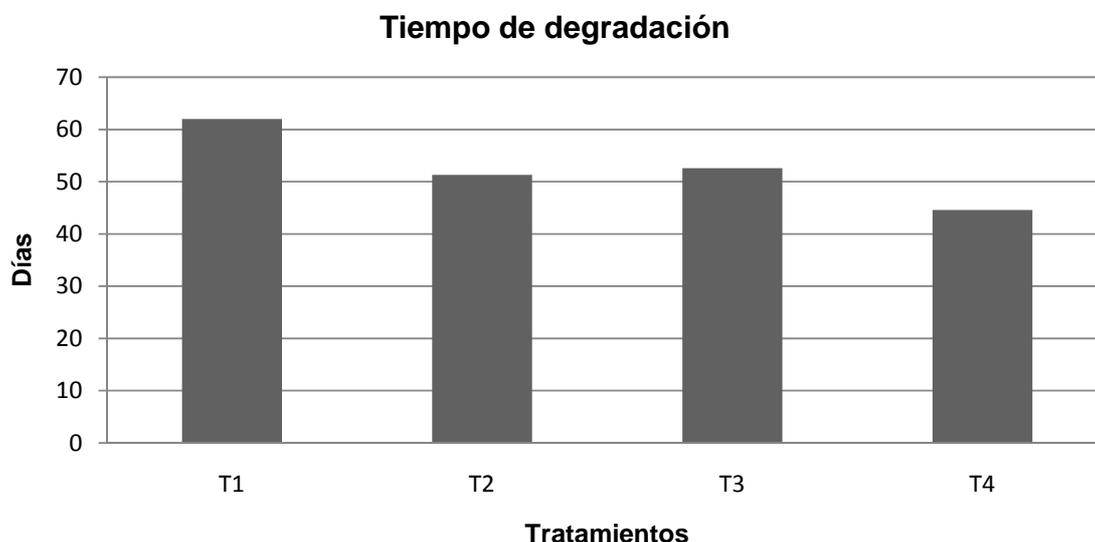


Figura 4. Tiempo de degradación promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.

La comparación de medias (Cuadro 4) mostró que la respuesta del Tratamiento 4 y 1 es estadísticamente diferente, y que el Tratamiento 2 y 3 son estadísticamente iguales entre ellos, pero diferentes a los demás, sin embargo. El Tratamiento 4 como la mejor respuesta para esta variable podría no necesariamente considerarse pues es quien mayormente emplea agua, Sauri y Colaboradores (2002) aceptaron favorablemente la descomposición en 53 días, puede pues aceptarse al Tratamiento 2 como mejor respuesta con 51 días para la degradación pero con la menor cantidad de agua posible.

Cuadro 4. Comparación de medias para el Tiempo de degradación en el composteo de RSM.

TRATAMIENTO	MEDIAS
1	62.0000 A
3	52.6667 B
2	51.3333 B
4	44.6667 C

4.3 Porcentaje de materia orgánica

Para la variable porcentaje de materia orgánica presentó el valor promedio más alto de 15.676 % de M. O. en el Tratamiento 4 (Figura 5). El resultado del ANAVA para el porcentaje de materia orgánica presentó diferencia significativa (Anexo 3). Sin embargo, Carriello y colaboradores (2007) muestran que los niveles de M. O. presentes en la composta de Residuos Sólidos Municipales (RSM) como producto final es de 51.7 %, es decir, 36.024 más alto que el valor registrado en el presente estudio.

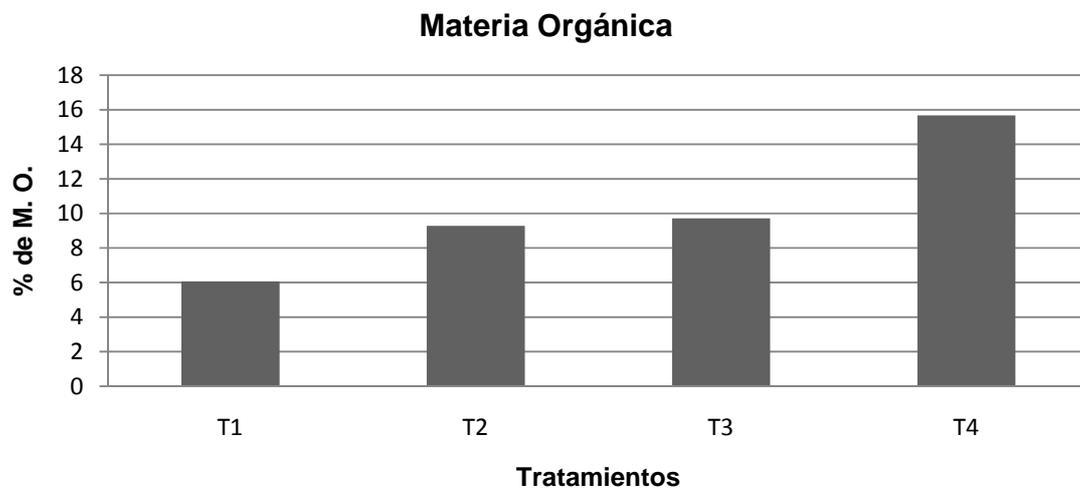


Figura 5. Porcentaje de materia orgánica promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.

Con respecto a la comparación de medias (Cuadro 5) se estableció que el Tratamiento 4 es estadísticamente diferente a los demás, y que los Tratamientos 1, 2, y 3 estadísticamente presentan similitudes entre ellos, puede decirse que el Tratamiento 4 ofrece la mejor respuesta para esta variable pero el consumo de agua es considerablemente mayor.

Cuadro 5. Comparación de medias para el porcentaje de materia orgánica en el composteo de RSM.

TRATAMIENTO	MEDIAS
4	15.6767 A
3	9.7167 B
2	9.2767 B
1	6.0733 B

4.4 Potencial de hidrogeno (pH)

Los valores de pH promedios oscilaron entre 7.63 y 7.86 (Figura 6). El ANAVA para la variable del pH, presentó diferencia altamente significativa (Anexo 4). Castrillón y Colaboradores (2006) en experimentos similares registraron valores de pH entre 8 y 9, aun que existe diferencia altamente significativa, los valores registrados son valores neutrales por lo cual el pH no representó realmente un factor detonante para la selección del tratamiento como la mejor respuesta.

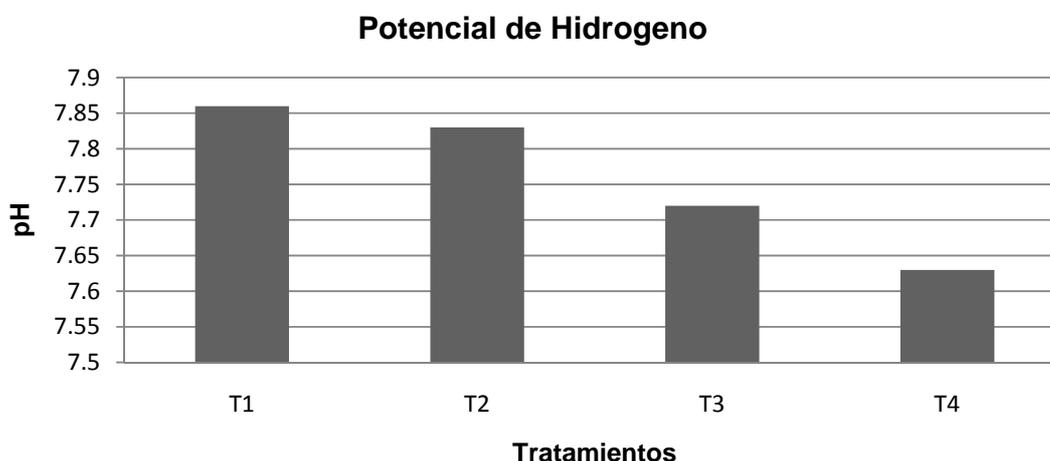


Figura 6. Potencial de hidrogeno promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.

Sin embargo, la comparación de medias (Cuadro 5) permitió observar que los Tratamientos 1 y 4 difieren totalmente del resto del grupo, y que los Tratamientos 2 y 3 son estadísticamente iguales entre ellos, pero se presentan igualdad para los Tratamientos 1 y 4 respectivamente.

Cuadro 6. Comparación de medias para el Potencial de hidrogeno en el composteo de RSM.

TRATAMIENTO	MEDIAS
1	7.8667 A
2	7.8333 AB
3	7.7333 BC
4	7.6333 C

4.5 Conductividad eléctrica (CE)

En la Figura 7 se aprecia que el Tratamiento 4 presentó el mayor valor promedio con 3.086 dSm^{-1} . El ANAVA (Anexo 5) no presentó diferencia significativa, Sin embargo, se observó mejor respuesta en el Tratamiento 2, cabe mencionar que estos valores indican niveles de salinidad en este sentido los valores altos pueden tener efectos negativos, algunos estudios como los de Torres y Colaboradores (2000), mencionan que los rangos óptimos para la CE es de 1.2345 mmhos/cm lo cual se puede decir, que el Tratamiento 2 fue el que tuvo mejor respuesta para esta variable.

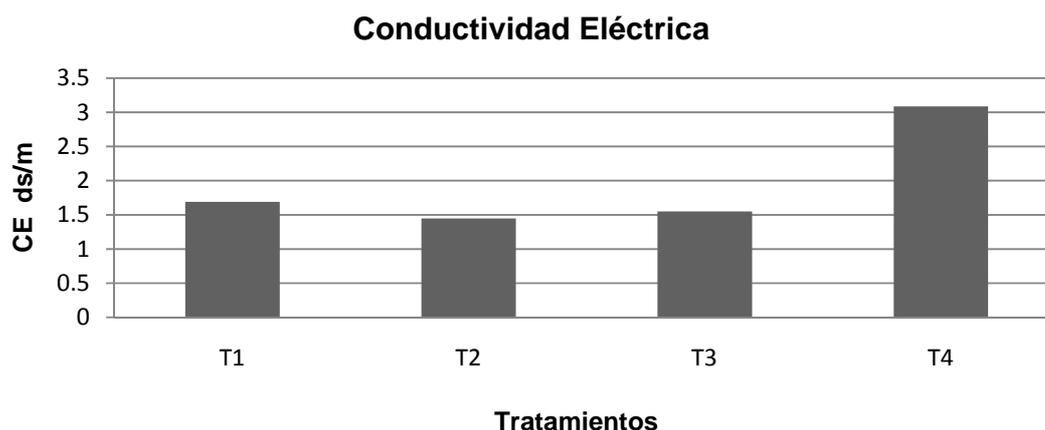


Figura 7. Conductividad eléctrica promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.

4.6 Nitrógeno total

La variable Nitrógeno total presentó un valor promedio de 0.8038 % en el Tratamiento 4 como se observa en la (Figura 8) siendo este el valor más alto. El ANAVA para el porcentaje de Nitrógeno total no presentó diferencia significativa (Anexo 6), significando que la respuesta del tratamiento es indistintamente igual para los cuatro casos de estudio. En este sentido Buenrostro y Colaboradores (2000) obtuvieron como mayor porcentaje de Nitrógeno total con 9.43 % lo que indica en el presente trabajo valores por debajo de los obtenidos por el autor antes mencionado.

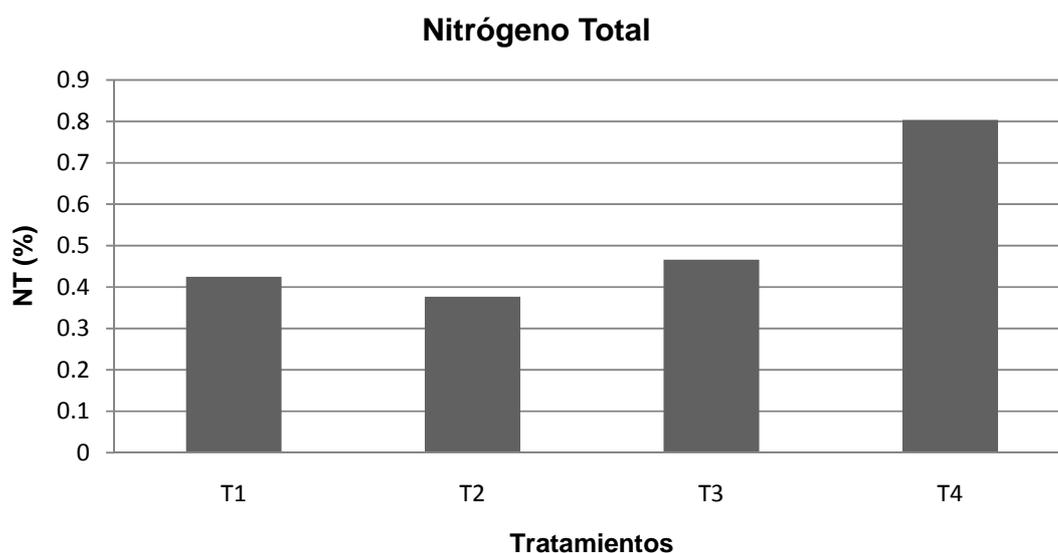


Figura 8. Porcentaje de Nitrógeno total promedio para el composteo de RSM en diferentes aplicaciones de humedad evaluados durante 64 días.

V. CONCLUSIÓN

Una alternativa viable para la disminución del efecto contaminante producto de los desechos sólidos municipales de origen comercial es sin duda la reutilización de estos con propósitos de compostaje, sin embargo, queda mucho por evaluar ya que no solo debe hablarse de la calidad del producto final, sino de la cultura y los esfuerzos que habrá que realizarse para la educación ambiental que el proceso conlleva, por tal motivo el objetivo planteado es parcialmente cubierto ya que en el proceso descriptivo fue un éxito al obtener la composta aun que de una calidad no del todo buena, no obstante un primer intento ha dejado las puertas abiertas para enriquecer esta alternativa.

La calidad de la composta a base de residuos sólidos municipales de origen comercial presentó diferencias estadísticas en las variables de tiempo de degradación, materia orgánica y porcentaje de hidrogeno, donde al menos uno de los tratamientos fue diferente. Por tal motivo, puede decirse que el Tratamiento 2 es quien ofreció la mejor respuesta ya que si bien no presentó los valores más altos de fertilidad, si presenta valores que para el presente trabajo son aceptables de acuerdo a los tratamientos en cuestión y en adición el efecto de la salinidad (CE) es menor. En ese sentido la hipótesis ha sido aceptada puesto que al aplicarle mayor humedad se acelera rápidamente la degradación de los residuos en la composta.

En adición, el problema del agua no es un tema que debe dejarse de lado al compostear puesto que como se ha observado el Tratamiento 4 en algunos casos ofertó mejor respuesta, sin embargo, dicho tratamiento fue quien mayormente utilizó agua, por lo tanto; en futuros ensayos deberá considerarse la viabilidad de emplear

grandes cantidades de agua. A demás, dado la baja fertilidad de la composta y con fines de ser empleada como un fertilizante orgánico de calidad valdría la pena considerar otros elementos que pudieran enriquecer el proceso, tales como estiércoles o harinas minerales.

VI. LITERATURA CITADA

- Abubacar I., Acosta J. y Yeomans J., 2008. Gestión Administrativa para un Programa de Manejo de Desechos en Comunidades Rurales. Tierra Tropical. Vol. 4. p. 83.
- Altamirano F. M. y Cabrera C. C., 2006. Estudio Comparativo para la Elaboración de Compost por la Técnica Manual. I. de Investigaciones FIGMMG. Vol. 9. p. 76.
- Artavia S., Uribe L., Saborío F., Arauz L. F., Castro L., 2010. Efecto de la Aplicación de Abonos Orgánicos en la Supresión de *Pythium Myriotylum* en Plantas de Tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*). Agronomía Costarricense. Vol. 34. p. 18.
- Arreola C. F. A., 2010. Tesis. Evaluación del Porcentaje de Micorrizas Vesículo Arbusculares (mva) en el Cultivo del Maíz (*Zea mays* L.) Alternativo y Convencional. Ingeniero en Agroecología. Torreón, Coahuila, Mexico. UAAAN-UL. p. 29.
- Barrena G. R., 2006. Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos. Universidad Autónoma de Barcelona, Memoria de Tesis. pp. 21,22.
- Berradre M., Mejías M., Ferrer J., Chandler C., Páez G., Mármol Z., Ramones E., Fernández V., 2009. Fermentación en el Estado Sólido del Desecho Generado en la Industria Vinícola. Fac. Agron. Vol. 26. p. 398.
- Buenrostro O. e Israde I., 2003. "La Gestión de los Residuos Sólidos Municipales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, México." Internacional de Contaminación Ambiental. Vol.19. pp. 161-162.
- Cabrera A. M. E., Broisin A. K., Coss F. M. E., Díaz V. V. M., Pérez Q. J. N., Pinson R. E. P., 2005. Composta y Biofertilizantes Elaborados de Residuos de Plantas de Banano Infectados con *Ralstonia solanacearum* R-2 E. F. SMITH. Universidad Autanoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV, Huehuetán, Chiapas, México. Pág. 6.
- Cariello M. E., Castañeda L., Riobo I., González J., 2007. Inoculante de Microorganismos Endógenos para Acelerar el Proceso de Compostaje de Residuos Sólidos Urbanos. J. Soil Sc. Plant Nutr. Vol. 7. p. 28.

- Castrillón Q. O., Bedoya M. O., Montoya M. D. V., 2006. Efecto del pH sobre el Crecimiento de Microorganismos durante la Etapa de Maduración en Pilas Estáticas de Compost. Producción + limpia. p. 89.
- Carrasco G., Ramírez P., Vogel H., 2007. Efecto de la Conductividad Eléctrica de la Solución Nutritiva sobre el Rendimiento y Contenido de Aceite Esencial en Albahaca Cultivada en NFT1. IDESIA. Vol. 25. p. 60.
- Castro S. D., 2004. Producción Aeróbica de Compost a partir de Residuos de Mataderos de Reses y Mercados. Universidad mayor de San Andrés. p. 246.
- Cerrato M. E., Leblanc H. A., Kameko C., 2007. Potencial de Mineralización de Nitrógeno de Bokashi, Compost y Lombricompost Producidos en la Universidad Earth. Tierra Tropical. Vol. 3. pp. 187-188.
- Crespo G. M. R., Miramontes L. E. A., González E. D., 2005. Caracterización de Compostas de Residuos Sólidos Municipales y Efectos en Algunas Propiedades del Suelo. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. Vol. 27. pp. 42-43.
- Crespo G. M. R., González D. E. R., Miramontes L. E. A., Nuño R. R., Zarazúa V. P., Lépiz I. R., 2006. Uso de una Composta de Residuos Sólidos Municipales como Mejorador de Suelos Agrícolas. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. Vol. 27. p. 53.
- Dicent D. Y., 2005. Modelo de Manejo de Desechos Sólidos Ordinarios para Comunidades Rurales en Costa Rica. Ingeniero Agrónomo. Guácimo, Costa Rica, EARTH. pp. 15-22.
- García I., y González R. L., 2005. Análisis e Identificación de Bioestimulantes Indólicos en una Composta. Investigación Universitaria Multidisciplinaria. Vol. 4. pp. 7-10.
- Hernández R. A., Ojeda B. D., Vences C. C., Chávez G. C., 2009. Situación Actual del Recurso Suelo y la Incorporación de Abonos Orgánicos como Estrategia de Conservación. Aventuras del Pensamiento. Vol. 49. p. 3.
- Julca O. A., Meneses F. L., Blas S. R., Bello A. S., 2006. La Materia Orgánica, Importancia y Experiencia de su uso en la Agricultura. IDESIA (Chile). Vol. 24. p. 50.
- León N. J. A., Gómez Á. R., Hernández D. S., Álvarez S. J. D., Palma L. D. J., 2006. Mineralización en Suelos con Incorporación de Residuos Orgánicos en

- los Altos de Chiapas, México. Universidad y Ciencia. Vol. 22. pp. 163-164.
- LGEEPA., 2010. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación.
- Llaven V. G., 2009. Producción de Girasoles Orgánicos (*Helianthus annuus* L) con Características Ornamentales Aplicando dos tipos de Composta, Lombricomposta y Composta en Condiciones de Campo. Ingeniero en Agroecología. Torreón, Coahuila, Mexico. UAAAN-UL. pp. 11-13.
- López V. M. E. y Fabelo F. J. A., 2005. Minimización de Residuos Mediante la Obtención de Compost de Residuos Sólidos Urbanos en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas. CEQA. p. 9.
- Luna V. A., García S. M. L., Rodríguez D. E., Corona J. P., Aceves E. T. J., Escalante M. R., Vázquez N. J., 2009. Evaluación de Diferentes Compostas tipo Bocashi Elaboradas con Estiércol de Bovino, Cerdo, Ovino y Conejo. Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Producción Agrícola. pp. 2-3.
- Martínez R. M., Miglierina A. M., Luna M., Van K. A., Pellejero G., 2008. Evaluación del Compostaje de los Residuos del Procesamiento de la Cebolla. Pilquen, Sección Agronómica. Vol. 9. p. 2.
- Mora D. J. R., 2006. Contribuciones del Compost al Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo. Lunazul. pp. 2-3.
- Moreno R. A., 2004. Origen, Importancia y Aplicación de Vermicomposta para el Desarrollo de Especies Hortícolas y Ornamentales. UAAAN-UL, Departamento de Suelos. p. 3.
- NORMA OFICIAL MEXICANA-021-SEMARNAT-2000. Establece las Especificaciones, de Fertilidad, Salinidad, y Clasificación de Suelos, Estudios Muestras y Análisis. Publicado en el Diario de la Federación el Diciembre de 2002.
- Puertas A. y Hidalgo D. L., 2009. Efecto de Diferentes Abonos Orgánicos sobre el Establecimiento de *Pochonia chlamydosporia* var. *Catenulata* en el Sustrato y la Rizosfera de Plantas de Tomate. Protección veg. Vol. 24. p. 163.

- Puerta E. S. M., 2004. Los Residuos Sólidos Municipales como Acondicionadores de Suelos. *Lasallista de Investigación*. p. 57.
- Rodríguez D., Ruiz A., Martínez S. M., Matiz A., 2006. Uso de un Inoculante Termofílico en la Transformación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). *Universitas Scientiarum*. Vol. 12. p. 57.
- Rosal A., Pérez J. P., Arcos M. A., Dios M., 2007. La Incidencia de Metales Pesados en Compost de Residuos Sólidos Urbanos y en su uso Agronómico en España. *Información Tecnológica*. Vol. 18. p. 75.
- Ruiz R. O., 2006. Agroecología, una Disciplina que Tiende a la Transdisciplina. *Interciencia*. Vol. 31. p. 2.
- Sauri R. M. R., Nájera A. H. A., Ramírez H. J. G., Mejía S. G. M., 2002. Aplicación del Composteo como Método de Tratamiento de los Residuos de Frutas Producidos en Zonas de Alta Generación. *Ingeniería*. Vol. 6. p. 14.
- Sauri R. M. R. y Castillo B. E. R., 2002. Utilización de la Composta en Procesos para la Remoción de Contaminantes. *Ingeniería*. Vol. 6. pp. 55-56.
- SEMARNAT., 2004. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial*. p. 12.
- Sosa I. Y., 2009. Tesis. Diagnóstico Básico del Suelo para la Producción Orgánica: Caso Ejido Barreal de Guadalupe, Torreón, Coah. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. p. 10.
- SUSTENTA., 2009. Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el Municipio de Torreón, Coahuila. p. 6.
- Torres F. I., Ticanter R. A., Calderon F. E., Marin C. M. A., 2000. Caracterización de Compostas y Lombricompostas y su Potencial uso en Enmiendas de Suelo y Producción de Cultivos. p. 7.
- Widman A. F., Herrera R. F., Cabañas V. D. D., 2005. El Uso de Composta Proveniente de Residuos Sólidos Municipales como Mejorador de Suelos para Cultivos en Yucatán. *Estudios Preliminares. Artículo de Investigación*. Vol. 9. pp. 31-34.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Varianza para la Variable de Temperatura en el Composteo de RSM.

TV	GI	SC	CM	FC	Ft	
					0.05	0.01
Trat	3	0.884766	0.294922	0.3753	4.07	7.59
Error	8	6.286133	0.785767			
Total	11	7.170898				

C. V.= 2.64 %.

Anexo 2. Análisis de Varianza para la Variable de Tiempo de Degradación en la Composta de RSM.

FV	GI	SC	CM	FC	Ft	
					0.05	0.01
Trat	3	458.66796	152.88933	122.3115	4.07	7.59
Error	8	10	1.25			
Total	11	468.66797				

C. V.= 2.1218 %.

Anexo 3. Análisis de Varianza del Porcentaje de Materia Orgánica en la Composta de RSM.

TV	GI	SC	CM	FC	Ft	
					0.05	0.01
Trat	3	144.325928	48.108643	4.83	4.07	7.59
Error	8	79.632324	9.954041			
Total	11	223.958252				

C. V.= 30.97%.

Anexo 4. Análisis de Varianza para la Variable del Potencial de Hidrogeno (pH), en el Producto Final del Composteo de RSM.

TV	GI	SC	CM	FC	Ft	
					0.05	0.01
Trat	3	0.100220	0.033407	10.04	4.07	7.59
Error	8	0.026611	0.003326			
Total	11	0.126831				

C. V.= 0.74%.

Anexo 5. Análisis de Varianza para la Variable de Conductividad Eléctrica (CE) en el Producto Final de la Composta de RSM.

TV	GI	SC	CM	FC	Ft	
					0.05	0.01
Trat	3	5.318344	1.772781	2.68	4.07	7.59
Error	8	5.279327	0.659916			
Total	11	10.597672				

C. V.= 41.80 %.

Anexo 6. Análisis de Varianza para la Variable del Porcentaje de Nitrógeno Total en el Producto Final de la Composta de RSM.

TV	GI	SC	CM	FC	Ft	
					0.05	0.01
Trat	3	0.339312	0.113104	2.24	4.07	7.59
Error	8	0.403817	0.050477			
Total	11	0.743129				

C. V.= 43.39%.