

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas



MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICOS EN LA
PRODUCCIÓN DE MEJORADOR ORGÁNICO DE
SUELOS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AGRONOMO

PRESENTA

MARIELA ITZAYANA VALLEJANO CALVILLO

DIRECTOR:

DRA. BLANCKA YESENIA SAMANIEGO GÁMEZ

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi directora de tesis la Dra. Blancka Yesenia Samaniego Gámez quien con sus conocimientos y su apoyo incondicional me impulso a continuar y poder terminar este proyecto, estuvo siempre en cada momento apoyándome y corrigiéndome, compartió un poco de su conocimiento conmigo y creo es lo mejor que podemos compartir con las personas y así impulsarlas para nunca rendirnos pues siempre podemos aprender algo nuevo.

A el Instituto de Ciencias Agrícolas quien fue mi casa por cuatro años donde aprendí todo lo que hoy se, gracias a todos mis profesores por compartir su conocimiento y por la paciencia que tienen hacia los alumnos, gracias por brindarme todos los recursos y herramientas para llevar a cabo el proyecto de principio a fin.

A mi familia que siempre me ha apoyado incondicionalmente en cada meta que me propongo, que a pesar de la distancia siempre han estado conmigo.

A mi novio y su familia que me abrieron las puertas de su casa y me incluyeron como parte de su familia, mi novio quien me motivo a cada día seguir luchando y dando lo mejor de mí.

Gracias a todos mis amigos y amigas por siempre estar y ayudarme siempre que los necesite.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres quienes toda la vida se han esforzado demasiado para darme la oportunidad de estudiar una carrera, gracias por darme alas y enseñarme a volar a la vida adulta son un gran ejemplo que seguir de esfuerzo, dedicación, pero más que nada de darme siempre su amor y apoyo incondicionalmente. No va a alcanzarme la vida para terminar de agradecerles todo lo que han hecho por mí y mis hermanas, pero por algo se empieza así que este trabajo es para ustedes.

ÍNDICE

Sección

Página

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
Resumen.....	VII
Abstract	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. HIPÓTESIS.....	3
4. OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS PARTICULARES	3
5. ANTECEDENTES.....	4
5.1 Residuos Sólidos Urbanos.....	4
5.2 Composta.....	5
5.3 Proceso de compostaje	7
5.4 Elaboración de composta.....	11
5.5 Parámetros físicos durante el compostaje	12
5.6 Aguas residuales	12
5.6.1 Clasificación de las aguas residuales	13
5.6.2 Composición de las aguas residuales	14
5.7 Características edafoclimáticas del Valle de Mexicali.	15
6. MÉTODOS	17
6.1 Establecimiento de área para compostaje	17
6.2 Proceso de elaboración mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos	18
6.3 Aguas residuales en el compostaje	19

6.4 Monitoreo de parámetros en el proceso de compostaje	20
7. RESULTADOS.....	20
7.1 Proceso para la producción de mejorador orgánico de suelos composteado	20
7.2. Monitoreo de parámetros químicos durante la producción de mejorador orgánico en zonas áridas.....	25
7.3 Características de mejorador orgánico de suelos	29
8. DISCUSIÓN	31
9. CONCLUSIONES	33
10. LITERATURA CITADA	34
11. ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de aniones y cationes, en mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos.....	29
Cuadro 2 Parámetros de salinidad en mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos.	29
Cuadro 3. Materiales y herramientas empleados en la construcción y desarrollo de actividades de producción de composta.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1 Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo (Román <i>et al.</i> , 2013).....	8
Figura 5.2 Fases del proceso de producción de composta y temperaturas alcanzadas (FUNDASES, 2014).	11
Figura 6.1 Ubicación del centro de compostaje.....	18
Figura 6.2 Ubicación de área de producción de composta.....	18
Figura 6.3 Ubicación de Planta de tratamiento de aguas residuales ICA-UABC y descarga hacia canteros de Centro de Compostaje ICA-UABC.	19
Figura 7.1 Maquinaria tipo retroexcavadora durante el establecimiento de estiércol para la formación de pilas de compostaje.....	21
Figura 7.2 Incorporación de material vegetal de tipo paja de trigo en pilas de compostaje con estiércol.....	21
Figura 7.3 Máquina composteadora utilizada en labores de producción. A) Vista anterior de equipo colocado en tractor; B) Vista lateral del implemento.	22
Figura 7.4 Volteo mecanizado en pilas de compostaje. A) Implemento en tractor; B) Volteo de material en proceso de compostaje.....	23
Figura 7.5 Proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta a base de heces animales, material vegetal, aguas moradas y suelo, producido en agroecosistemas de zonas áridas.	24
Figura 7.6. Cuantificación de los valores de pH.....	26
Figura 7.7. Cuantificación de los valores de temperatura (°C)	27
Figura 7.8 Cuantificación de los valores de humedad (%).....	28
Durante el proceso de descomposición de mejorador orgánico de suelos de tipos composta, producido en zonas áridas se observan cambios físicos relacionados con la coloración y estructura. Durante la fase de preparación de materiales orgánicos, se observa.....	30
Figura 7.7. Proceso de descomposición de mejorador orgánico de suelos de tipos composta.....	31

Resumen

A nivel mundial, los Residuos Sólidos Urbanos ocasionan problemas al medio ambiente. El proceso de compostaje representa una alternativa para el manejo de residuos sólidos. El objetivo de este estudio fue determinar los parámetros físicos durante la producción de mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos en zonas áridas. Se establecieron pilas de compostaje a base de rastrojo de trigo, estiércol generado por ganado vacuno para engorda, suelo y se humedeció con aguas residuales. Se realizó el monitoreo de los parámetros de control pH, temperatura (°C) y humedad (%). La composta obtenida presentó valores de pH durante el proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta producido en ICA-UABC estuvieron durante las 24 semanas del proceso entre 8 y 9, habiendo un descenso en la semana 11, estando a un pH de 6. La máxima temperatura que se alcanzó fue de 44°C. El rango de humedad durante el proceso de compostaje fue de 35-60%. El proceso de compostaje en zonas áridas de residuos como rastrojo de trigo, estiércol de ganado vacuno, aguas residuales y suelo genera composta que puede ser utilizada como mejorador de suelos.

Palabras clave

Composta, zonas áridas, mejorador de suelos

Abstract

At a global level, Urban Solid Waste causes problems for the environment. The composting process represents an alternative for solid waste management. The objective of this study was to determine the physical parameters during the production of organic soil improver obtained from Urban Solid Waste in arid zones. Composting piles were established based on wheat stubble, manure generated by beef cattle for fattening, soil and it was moistened with wastewater. The control parameters pH, temperature (°C) and humidity (%) were monitored. The compost obtained presented pH values during the process of making the compost-type organic improver produced at ICA-UABC were between 8 and 9 during the 24 weeks of the process, with a decrease in week 11, being at a pH of 6. The maximum temperature that was reached was 44 ° C. The humidity range during the composting process was 35-60%. The composting process in arid areas of waste such as wheat stubble, cattle manure, wastewater and soil generates compost that can be used as a soil improver.

Key words

Compost, arid zone agroecosystems, soil improve

1. INTRODUCCIÓN

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son aquellos generados en casa habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, por ejemplo; productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques o los provenientes de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de establecimientos o vía pública, siempre y cuando no sean considerados residuos de otra índole. De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos los RSU son de competencia municipal.

El composteo es un proceso biológico aerobio de oxidación de materia orgánica, realizada por una sucesión dinámica de microorganismos de cuya actividad se genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50 °C durante varios días consecutivos. Esto destruye a los patógenos y da origen a un producto estable e inocuo, de color marrón oscuro, inodoro o con olor a humus, llamado composta (Iglesias y Pérez 1989), usada para mejorar la calidad del suelo agrícola.

Los métodos más utilizados para el compostaje de la fracción orgánica de los residuos son: hileras o pilas con volteo periódico, pilas estáticas aireadas y reactores cerrados, los cuales difieren principalmente en el método utilizado para airear el sistema y cuando se diseñan y operan correctamente producen una composta de calidad similar (Tchobanoglous et al. 1993).

El compostaje en pila o hilera es un método antiguo, simple y económico, el tamaño se adecua a la cantidad de residuos y la aireación se aplica por volteo de la pila con un trascabo o pala frontal (Tchobanoglous et al. 1993). En este método el tiempo de producción de la composta depende del tipo de residuo, tamaño de pila y frecuencia de volteo; por ejemplo, en el composteo de residuos de jardín en pilas de 1.5 a 2.5 m de altura con 4

a 5.5 m de ancho, humedad entre el 50 y 60 %, y volteo una vez por semana, tarda de 4 a 6 meses, incluyendo el mes de maduración (Tchobanoglous et al. 1993).

El compostaje en pila estática aireada consiste en una red de tuberías de escape o aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica a procesar, la altura de las pilas es aproximadamente de 2 a 2.5 m y a menudo se coloca encima de la pila recién formada una capa de compost para el control de olores; cada pila tiene un inyector de aire, controlado por una computadora. El oxígeno proporcionado en el aire fermenta los residuos por un período de tres a cuatro semanas y posteriormente el material se deja madurar por cuatro semanas más (Tchobanoglous *et al.* 1993). En el Instituto de Ciencias Agrícolas se buscan alternativas para y técnicas para favorecer el cuidado al medio ambiente y para la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) ocasionados en gran medida por nuestras actividades y patrones de consumo. De igual forma, con dichos residuos es posible generar productos orgánicos que puedan utilizarse en la producción agrícola. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar los parámetros físicos durante la producción de mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos en zonas áridas.

2. JUSTIFICACIÓN

La problemática ocasionada por los Residuos Sólidos como consecuencia de su incremento y de sus implicaciones en la contaminación ambiental, así como el agotamiento de los recursos naturales, hace que sea esencial la búsqueda de caminos para su correcta gestión desde el punto de vista ambiental y sociosanitario.

El control del proceso de compostaje consiste en el seguimiento de los parámetros operativos como temperatura, pH, y humedad. Es fundamental realizar el monitoreo de tales parámetros para optimizar el proceso de compostaje.

3. HIPÓTESIS

La cuantificación de parámetros físicos durante el proceso de compostaje permite generar en zonas áridas un producto de tipo mejorador de suelos.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros físicos durante la producción de mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos en zonas áridas

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Caracterizar el área para el establecimiento de producción de mejorador orgánico composteado.
2. Determinar el proceso de elaboración mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos.
3. Describir los parámetros físicos óptimos durante el proceso de compostaje en zonas áridas.

5. ANTECEDENTES

5.1 Residuos Sólidos Urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los residuos que se generan en las casas habitación, estos resultan de la eliminación de materiales de productos que consumen y de sus envases o empaques SEMARNAT, 2017.

En cuanto a su composición, los RSU también han cambiado de manera importante en las últimas décadas en el país. En general, la composición depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población: países con menores ingresos producen menos residuos, dentro de los cuáles dominan los de composición orgánica, mientras que, en los países con mayores ingresos, los residuos son mayormente inorgánicos a partir de productos manufacturados y con un porcentaje mayor de productos y desechos.

El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012 indica que, en la composición de los residuos sólidos urbanos (RSU), la fracción orgánica representa un 38 % del total, constituida por 0.51 % de cuero, 0.67 % de fibra dura vegetal, 25.57 % de residuos alimenticios, 0.59 % de hueso, 9.38 % de residuos de jardinería y 1.25 % de madera, más el resto de los residuos orgánicos provenientes de corrientes de residuos de manejo especial (RME), producidos por grandes generadores, así como de residuos orgánicos provenientes de actividades pesqueras, avícolas, agrícolas, silvícolas, forestales, ganaderas, etc.

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final, además proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Sin embargo, la situación del manejo de estos residuos dista

mucho de ser la adecuada a lo largo del país. Aún a la fecha es relativamente común que los residuos se depositen en espacios cercanos a las vías de comunicación o en depresiones naturales del terreno como cañadas, barrancas y cauces de arroyos. (SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012)

Para dar un manejo adecuado a los RSU existen tres puntos muy importantes los cuales llevándose acabo se pueden evitar riesgos al ser humano y a los ecosistemas:

- Reducción: consiste en gastar menos recursos y así adquirir menos productos y con eso minimizar la producción.
- Reusó: se trata de darle un nuevo uso adecuado al residuo
- Recicla: el residuo entra a un proceso de transformación para que posteriormente pueda ser utilizado de nuevo.

5.2 Composta

Es la mezcla de materiales orgánicos, colocados de una manera que fomente su degradación y descomposición. El producto final se utiliza para fertilizar y enriquecer la tierra de cultivo. También da cuerpo a suelos arenosos o ligeros y mejora el drenaje de suelos arcillosos (CDI, 2008).

Actualmente, son pocas las plantas de compostaje y tratamiento de residuos orgánicos en el país, tanto públicas como privadas. Su capacidad de procesamiento va desde plantas muy pequeñas de 12 toneladas al día o incluso menos, hasta las 2,000 toneladas al día, en el caso de la planta de composta de la Ciudad de México.

Por lo anterior, se considera importante promover el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los RSU y RME a nivel municipal, estatal y regional, en esquemas tanto públicos como privados, con la finalidad de disminuir la cantidad de residuos que son enviados a disposición final, y

con ello valorizar, en su mayor expresión posible, la materia orgánica en los sitios en donde ésta se genera.

Esta acción contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), prolongar el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios, disminuir el gasto público en disposición final, entre muchos otros beneficios; y obtener como resultado productos finales como compostas y lombricompostas de buena calidad que, al ser aplicados correctamente, nos permitan alcanzar múltiples beneficios sociales, económicos y ambientales, como pueden ser los siguientes: la recuperación de suelos erosionados y aumentar su fertilidad, con el fin de incrementar su productividad y lograr una mayor captura de carbono; mejorar el estado de las áreas verdes públicas, al disminuir el uso de fertilizantes sintéticos, promocionar su uso en huertos familiares o de traspatio; aumentar el éxito de los programas de reforestación, disminuir la extracción de sustratos en los bosques, entre muchos otros.

Particularmente, en la agricultura, el uso de la composta puede generar las siguientes ventajas:

- Es un fertilizante natural y mejorador de suelos.
- Estimula la diversidad y la actividad microbiana.
- Beneficia la estructura de los suelos y ayuda a la filtración de agua.
- Es el resultado del reciclaje de los residuos orgánicos producidos en las áreas ganaderas y agrícolas.

Las plantas de compostaje deben tener la capacidad de recepción y producción eficiente en función de que los sitios destinados a estos procesos se mantengan dinámicos y cumplan con los ciclos de producción, con base en el uso público o privado para el que fueron diseñados, a fin de que estos no se conviertan en depósitos de materia orgánica sin el adecuado procesamiento (DGN, 2018).

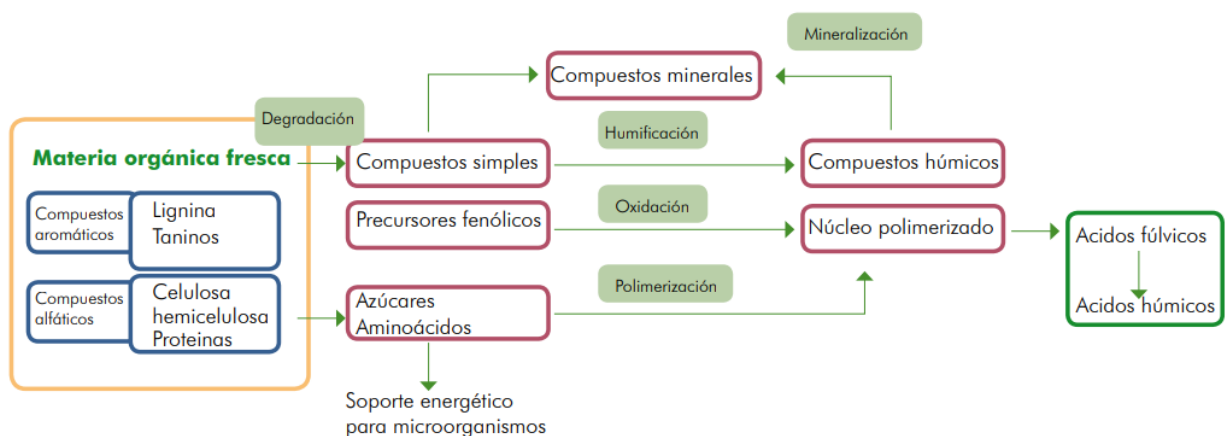
Existen diversas técnicas de compostaje, como son: pilas con volteo mecánico, pilas estáticas con aireación forzada o pasiva, reactores de

flujo vertical u horizontal, montículos, hileras, contenedores, trincheras, camas de digestión, trituración, astillados, entre otras. El proceso seleccionado, es válido siempre y cuando cumpla con las condiciones de seguridad ambiental y sanitaria aquí descritas, así como con la calidad del producto final (DGN, 2018).

5.3 Proceso de compostaje

El proceso de compostaje consiste en la descomposición biológica aerobia y la estabilización de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas entre los 50 y 70°C, como resultado de estas altas temperaturas se obtiene un producto estable el cual queda libre de patógenos y semillas y puede ser aplicado al suelo.

Para que el proceso se pueda iniciar debe cumplir con humedad entre 30 y el 65%, no más de 80%. también se requiere una mezcla de los estiércoles con material vegetal para obtener porosidad y una buena



relación C/N (carbono/ nitrógeno). (Pozuelo, 2004)

Figura 5.1 Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo (Román *et al.*, 2013).

El proceso de compostaje requiere:

1. Oxígeno (aeróbico).
2. Agua en cantidad suficiente.
3. Cierta cantidad de calor (proceso exotérmico).
4. Bióxido de carbono CO₂.
5. Vapor de agua.

Los organismos implicados en el proceso son conjuntos de bacterias, hongos y microfauna. Se considera a la composta como un mejorador de suelo, ya que favorece el desarrollo de sus funciones (Rodríguez y Vázquez, 2006):

- Favorece la aireación y retención de humedad. En suelos arenosos ayuda a la retención del agua.
- Mejora la estructura del suelo. Es un agente preventivo de erosión.
- Favorece el almacenamiento de nutrientes y su disponibilidad para los vegetales.
- Provee un medio para la generación de diversos microorganismos, convirtiendo los residuos en humus para aprovecharlos o generar alimentos para otros.
- Favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro, y, por lo tanto, el aumento de la temperatura en ciertas estaciones del año.

El compostaje está formado por una serie 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 (Román *et al.*, 2013):

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, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho 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 crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), 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 actino bacterias, 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. Igualmente, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

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

4. Fase de Maduración. Es un período que demora 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).



Figura 5.2 Fases del proceso de producción de composta y temperaturas alcanzadas (FUNDASES, 2014).

5.4 Elaboración de composta

En México, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación, actualmente, la norma NMX-AA-180-SCFI-2018 establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.

Para elaborar composta lo primero que se debe hacer es seleccionar el área donde se va a realizar es importante que el área cuente con una pequeña pendiente para así evitar encharcamiento en caso de lluvias o derrames accidentales de agua.

Un vez que se tenga seleccionado el área donde haremos nuestra composta, sobre el suelo, se coloca una capa de 10 a 20 centímetros de materiales secos y se moja, posteriormente una capa de materiales frescos como hierba recién cortada o desperdicios de frutas y verduras y se moja, después una capa de abono y se moja y finalmente una capa de tierra que no pase de un 15% del total del material que se ha colocado y se moja. Posteriormente se puede iniciar nuevamente con capas sucesivas de materiales en el orden que se ha indicado hasta lograr una altura de máximo 1.5 metros. Se revuelven todos los materiales hasta que quede una mezcla homogénea de todos los componentes de la composta. Posteriormente se tapa la revoltura, de manera que inicie el ascenso de la temperatura. hay que revisar diariamente la temperatura, de manera que, en el centro de la composta, no se rebase los 65°C, temperatura a la cual

se mueren los microorganismos patógenos que pudieran existir en la composta, tanto para plantas como para humanos. El descuido en esta etapa nos puede llevar al quemado de la composta, el cual se nota cuando se producen cenizas y que se da cuando la temperatura aumenta a más de 75°C.

Esperar a que los microorganismos hagan su función de formación de nuevos compuestos (humus), lo cual puede llevar de un mes y medio a seis meses, dependiendo de los materiales que se utilicen, la temperatura del medio ambiente, la humedad de la composta y del inóculo que se use. Se considera que una composta está terminada cuando en primer lugar no existe temperatura alta, la coloración de la composta húmeda debe ser de color negro, y el olor debe ser agradable, como de tierra de encino o tierra húmeda. (Cuara)

5.5 Parámetros físicos durante el compostaje

Los parámetros de seguimiento, es decir, aquellos cuyos valores deben ser medidos a lo largo de todo el proceso para que se ajusten a un determinado intervalo, los cuales son contenido de materia orgánica, relación C/N, densidad aparente, temperatura, humedad, tamaño de partícula.

5.6 Aguas residuales

En 1993, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-SEMARNAT/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y

alcantarillado urbano o municipal. Una planta de tratamiento de aguas residuales debe considerar aspectos sanitarios y ambientales, dentro de la normatividad oficial nacional. Los conocimientos técnicos y las experiencias prácticas son necesarios en la selección y análisis de los procesos de tratamiento (Rojas, 2002). Los principales elementos que intervienen en la selección de los procesos de tratamiento son:

- Requerimientos de la calidad del agua residual tratada por parte de la autoridad
- competente
- Selección y análisis de las operaciones y procesos unitarios.
- Compatibilidad con las obras existentes.
- Costo (Capital, Operación y mantenimiento, Evaluación económica)
- Impacto ambiental de la instalación (Pérdida del terreno, Calidad del agua subterránea, Flora y fauna)
- Impacto ambiental de la operación (Emisión de gases, Ruidos, Averías)
- Generación de residuos (Efluentes, Aprovechamiento, Disposición en lagos y lagunas, Disposición en curso de agua, Lodos)
- Calidad de las aguas residuales (Sólidos suspendidos y disueltos, Materia orgánica e inorgánica, Nutrientes, Aceites y grasas, Microorganismos patógenos)
- Otras consideraciones (Tecnología adecuada, Disponibilidad de equipos y repuestos, Requerimientos de personal, Requerimientos de energía).

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) generan agua reutilizable para diversos fines. Uno de ellos ha sido el uso para la producción de composta.

5.6.1 Clasificación de las aguas residuales

Las redes de recolección y tratamiento de aguas residuales favorecen la salud humana, al disminuir el riesgo de enfermedades epidemiológicas (Rojas, 2002).

Las aguas residuales pueden tener varios orígenes:

Aguas residuales domésticas: son aquellas provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos (Castañeda y Flores 2013). Esta agua está compuesta por sólidos suspendidos, generalmente (materia orgánica biodegradable).

Aguas residuales industriales: Se originan de los desechos de proceso industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además de los componentes citados anteriormente, elementos tóxicos tales como plomo, mercurio, níquel, cobre y otros, que requieren ser removidos en vez de ser vertidos al sistema de alcantarillado (Rojas 2002).

5.6.2 Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99.9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de un 0.1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0.1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido.

El agua residual contiene componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos de alimentos, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes

sintéticos (Rojas, 2002). Las proteínas son el principal componente del organismo animal, pero también están presentes en los vegetales.

El gas sulfuro de hidrógeno presente en las aguas residuales proviene del azufre de las proteínas. Los carbohidratos son las primeras sustancias degradadas por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos por esta razón, las aguas residuales estancadas presentan una mayor acidez.

Los lípidos (aceites y grasas) incluyen gran número de sustancias que tienen, generalmente, como principal característica común la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Están siempre presentes en las aguas residuales domésticas, debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas.

Pueden estar presentes también bajo la forma de aceites minerales derivados de petróleo, debido a contribuciones no permitidas (de estaciones de servicio, por ejemplo), y son altamente indeseables, porque se adhieren a las tuberías, provocando su obstrucción.

Las grasas no son deseables, ya que provocan mal olor, forman espuma, inhiben la vida de los microorganismos, provocan problemas de mantenimiento. La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas. (Rojas, 2002).

El agua residual también contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos. Entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento (Villanueva y Flores, 2013).

5.7 Características edafoclimáticas del Valle de Mexicali.

El clima en el valle de Mexicali es Árido cálido, los veranos son tórridos y áridos, los inviernos son frescos y secos y está mayormente despejado todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 42 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 45 °C. La temporada de lluvia dura 3,3 meses, del 5 de diciembre al 14 de marzo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 15 de febrero, con una acumulación total promedio de 19 milímetros.

Los vientos dominantes en la región son los del norte, noreste y noroeste, se presentan en los meses fríos de octubre a abril. Los vientos del sur, sureste y suroeste dominan en la temporada de calor de los meses de julio y agosto.

Suelos.

En la región se presentan tres tipos de suelos, cuyas texturas predominantes se clasifican en: pesados o arcillosos 15.6%, medios o francos 50.8% y ligeros o arenosos 33.6%.

El suelo de textura pesada es de color café oscuro, con 60 a 70% de arcilla, compactado en el subsuelo, lo que origina una alta capacidad de retención del agua y en general un drenaje deficiente. El contenido de materia orgánica es bajo. Por las características de estos suelos, se requiere un manejo muy cuidadoso para que los cultivos que se siembren en ellos produzcan buenos rendimientos.

El suelo medio es de color café gris, con el 80% de partículas de limo y arena, en general, con buen drenaje. Son suelos profundos que favorecen un buen desarrollo radicular y consecuentemente se pueden obtener altos rendimientos.

El suelo ligero es de color gris claro, de alto contenido de arena, de 50 a 60%, que propicia el drenaje excesivo del agua. Esto ocasiona que se

requiera un mayor número de riegos de auxilio para obtener altos rendimientos.

6. MÉTODOS

6.1 Establecimiento de área para compostaje

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Compostaje ubicado en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, en el Ejido Nuevo León en el valle de Mexicali Baja California, alejado a 350 metros de las instalaciones del instituto. Cuenta con una superficie de 10,000.14m², sus coordenadas son 32°24'34"



N115°12'04" W.

Figura 6.1 Ubicación del centro de compostaje.

Adicionalmente, el Centro de Compostaje, cuenta con diversas áreas de producción, en donde se llevan a cabo los procesos para la elaboración de productos orgánicos (Figura 6.2).

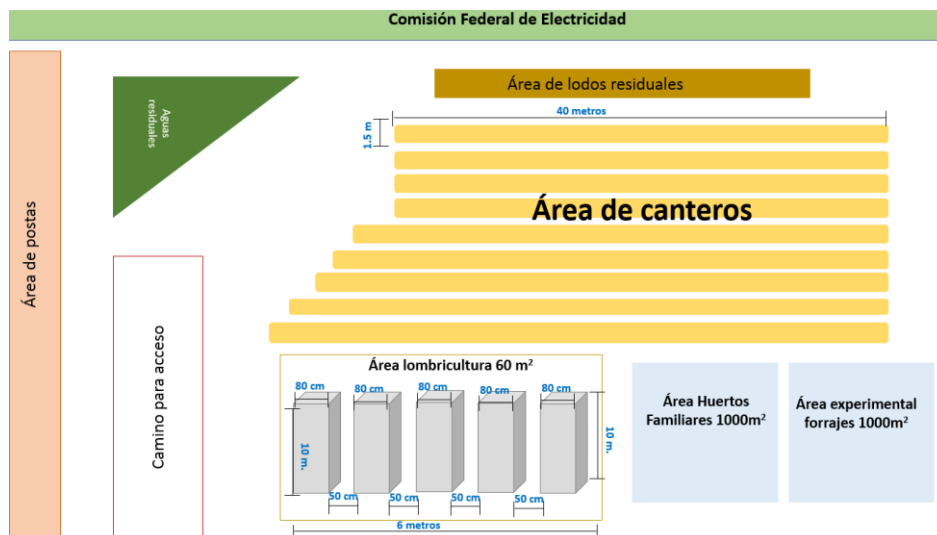


Figura 6.2 Ubicación de área de producción de composta.

6.2 Proceso de elaboración mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos

Para el desarrollo de actividades durante el establecimiento del área de producción, se requieren diversos materiales como: palas, carretillas,

revolvedora de composta, trituradora, mangueras, overoles, botas de hule, cubrebocas, equipo para medición de parámetros de control, acceso a conexión a suministros de agua, y bomba de agua, entre otros (Anexo 1).

Para el establecimiento de canteros, se siguieron las indicaciones descritas en Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018.

6.3 Aguas residuales en el compostaje

La producción de composta como elemento mejorador de suelos en zonas áridas se ha desarrollado con el uso de aguas residuales provenientes de planta tratadora, para la hidratación de los insumos y el proceso de descomposición (Figura 6.3).



Figura 6.3
Ubicación de Planta de tratamiento de aguas residuales ICA-

UABC y descarga hacia canteros de Centro de Compostaje ICA-UABC.

6.4 Monitoreo de parámetros en el proceso de compostaje

En cada cantero se tomaron lecturas de pH, temperatura y humedad, estas se realizaron en base a un calendario de actividades. Una vez tomadas las lecturas se determinaba si era necesario realizar acciones correctivas, o continuar con las actividades de producción. Se evaluaron los parámetros químicos de pH, retención de humedad y temperatura de acuerdo a la metodología descrita por Galindo *et al.* (2018).

7. RESULTADOS

7.1 Proceso para la producción de mejorador orgánico de suelos composteado

De acuerdo a la metodología empleada, se formaron pilas de excremento de ganado bovino que está en el instituto, las cuales son de aproximadamente 40m de largo, 1 m de altura y 2.5 m de ancho con una separación entre ellas de 3m para facilitar el tránsito de personal o maquinaria.



Figura 7.1 Maquinaria tipo retroexcavadora durante el establecimiento de estiércol para la formación de pilas de compostaje.

Una vez que estuvieron formadas las pilas se prepararon los residuos para posteriormente agregarlos a cada cantero. Cuando existe material vegetal muy grande como ramas de árboles o trozos de madera, éstos pasan a la trituradora para reducir su volumen. Posteriormente, son depositados a cada cantero, ordenados por capas con los diferentes materiales a utilizar.



Figura 7.2 Incorporación de material vegetal de tipo paja de trigo en pilas de compostaje con estiércol.

Los materiales fueron incorporados en capas de 15 cm de altura, utilizando herramientas como carretillas y palas, para la formación de cada cantero. Al finalizar la incorporación de ingredientes, es necesario incorporarlos, por lo que se revuelven de manera mecanizada, utilizando una composteadora (Figura 5.6).



Figura 7.3 Máquina composteadora utilizada en labores de producción. A) Vista anterior de equipo colocado en tractor; B) Vista lateral del implemento.

Después de cada volteo se agregó agua, para mantener la humedad y favorecer los procesos de descomposición microbiológicos. Este proceso se realizó repetitivamente hasta que se contó con una altura de aproximadamente 1m y una buena relación N/C (Figura 7.4). Similarmente, los riegos se realizaron continuamente para no perder humedad y evitar incendios. Una vez que el cantero quedo listo el tiempo de espera para que la composta estuviera lista fue de aproximadamente 6 meses.

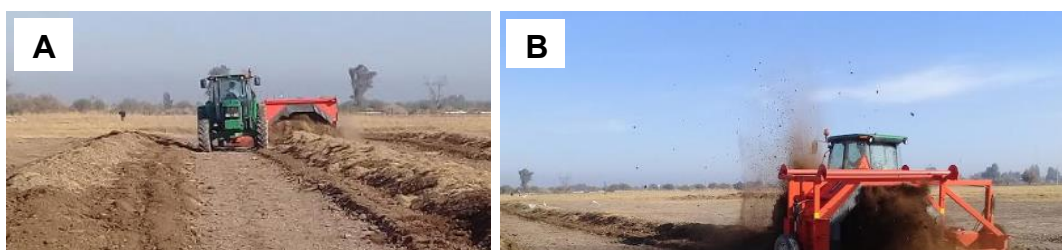


Figura 7.4 Volteo mecanizado en pilas de compostaje. A) Implemento en tractor; B) Volteo de material en proceso de compostaje.

Durante el proceso de producción de composta, se utilizó como fuente de riego aguas residuales obtenidas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto de Ciencias Agrícolas. El predio donde se generan y realizan las descargas de aguas residuales se ubica en Carretera a Guadalupe Victoria, Ejido Nuevo León, C.P. 21705, Mexicali, Baja California, y a 600 m. al Oeste del Centro del Ejido (Figura 7.1).

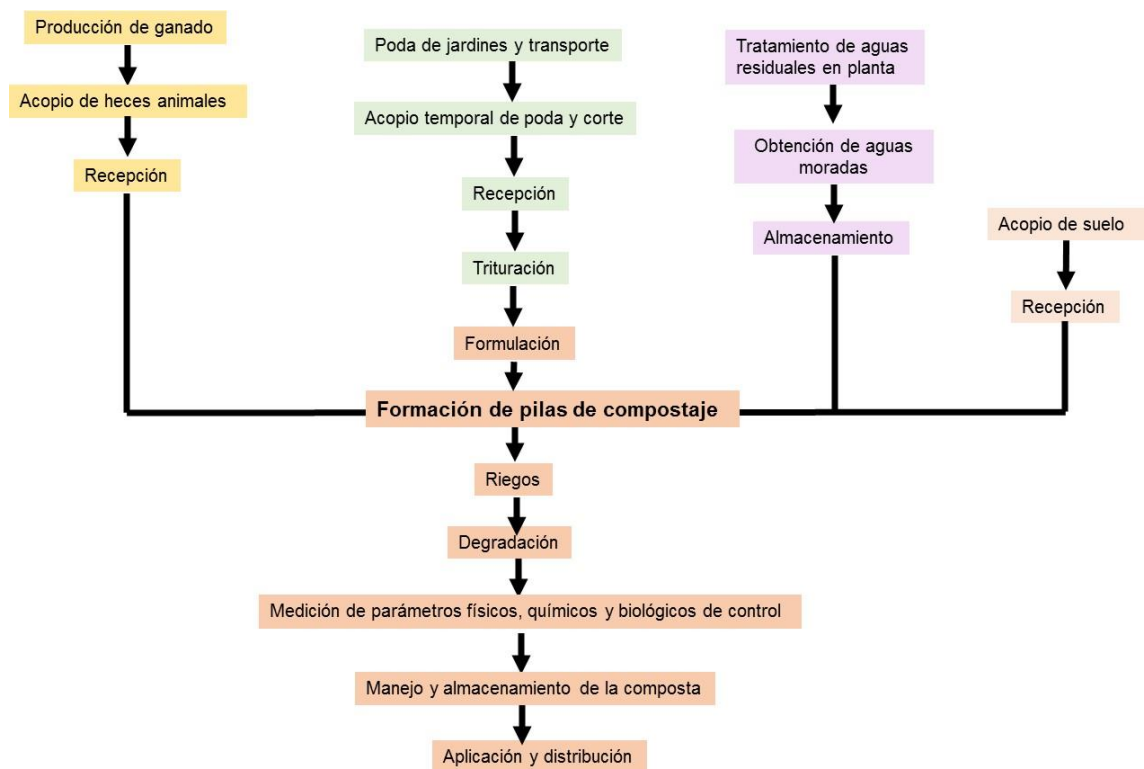


Figura 7.5 Proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta a base de heces animales, material vegetal, aguas moradas y suelo, producido en agroecosistemas de zonas áridas.

Principalmente, la procedencia de la descarga de aguas residuales ha sido: a) servicios sanitarios de instalaciones educativas, b) limpieza de salas de estancia de porcinos y vacunos, c) sala de ordeña, d) quesos y e) carnes. El punto de distribución para riego se encuentra ubicado en Latitud norte $32^{\circ} 24' 31.9''$ y Longitud Oeste $115^{\circ} 12' 4.6''$.

Actualmente, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales tiene un gasto promedio de descarga de $28.8 \text{ m}^3/\text{día}$, mismo que se lleva a cabo los 365 días al año. El proceso generador de la descarga se realiza durante 8 horas, para generar anualmente una descarga de $10,512 \text{ m}^3$.

Del volumen anterior, para la hidratación de composta, se consumió por secado y evaporación sin haber infiltración, y humedeciendo cada cantero 4 horas por día, 2 veces por semana durante un año. De esta manera, el sistema de bombeo genera 1 litro/seg siendo $14.4 \text{ m}^3/\text{día}$, por lo tanto, para la producción de composta se utilizaron $1,497.2 \text{ m}^3/\text{año}$ de aguas tratadas. Adicionalmente, y considerando todos los costos de operación, mantenimiento, análisis, papeles legales, 1 operador y el costo electricidad de $\$30,000/\text{mes}$, se tiene que el costo aproximado es de $\$50/\text{m}^3$ de agua tratada.

Los dispositivos para realizar el proceso de tratamiento de aguas residuales utilizados fueron: a) sistema de lodos activados con pretratamiento en lagunas de aireación y b) desinfección con Hipoclorito de Sodio. Se realizaron muestreos trimestrales para determinar el cumplimiento de parámetros indicados en la norma.

En base a la metodología desarrollada, durante el proceso de producción de mejorador orgánico de suelos composteado en zonas áridas (Figura 7.5), se llevan a cabo las siguientes etapas:

1.- Fase mesófila: la temperatura de la pila de composta sube abruptamente a 40°C, en esta fase se consumen azúcares y proteínas, el PH baja se encuentra entre 5 y 5.5.

2.- Fase termófila: predominan los hongos termófilos y actinomicetos la temperatura se encuentra por encima de 60° C las bacterias que forman esporas predominan y los hongos mueren, el PH sube entre 8 y 9, se libera el potasio, magnesio y calcio.

3.- Fase mesófila: la temperatura desciende a 40°C y los organismos mesófilos se activan de nuevo, comienza la descomposición de la lignina, aparecen nuevos microorganismos e invertebrados.

4.- Fase de maduración: la temperatura desciende hasta ambiente, el PH final se debe encontrar entre 7 y 8, disminuyen la población de microorganismos y la pila de composta debe tener una coloración, olor y textura debe ser similar a tierra de monte.

7.2. Monitoreo de parámetros químicos durante la producción de mejorador orgánico en zonas áridas

En cada cantero se tomaron lecturas de pH, temperatura y humedad, estas se realizaron en base a un calendario de actividades. Una vez tomadas las lecturas se determinaban acciones correctivas, las cuales se realizaban de la siguiente manera:

- Baja humedad- Riego
- Alta humedad – volteo
- Alta temperatura y baja humedad – Riego
- Alta temperatura y alta humedad – Volteo

De acuerdo a la metodología desarrollada en zonas áridas, los niveles de pH se mantuvieron en rango entre 8 y 9. Asimismo, se cuantificaron reducciones en pH hasta 6 (Figura 7.6), durante la fase mesófila del proceso de descomposición.

Durante las primeras 10 semanas se registró un pH entre los 8.3 y 8.5 los cuales según la norma 180 de compostaje son ideales para el proceso de elaboración de mejorador orgánico, para la semana once se registró un gran descenso que llego a un pH de 6 el cual se aún está dentro del rango, para la semana doce aumento de nuevo a 8 y para la semana catorce y quince alcanzo un pH de 9, las siguientes semanas tuvo un ligero descenso y logro mantenerse en un rango de pH 8.

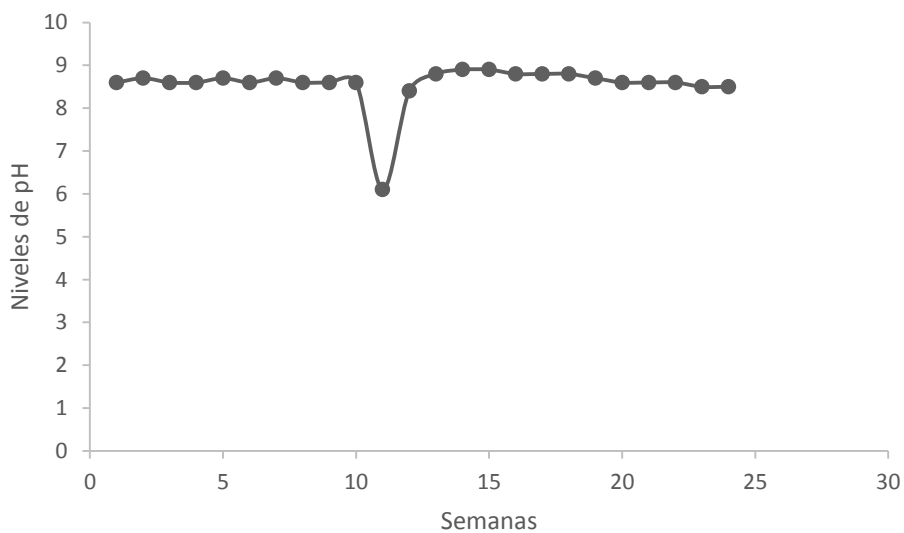


Figura 7.6. Cuantificación de los valores de pH durante el proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta a base de heces animales, material vegetal, aguas moradas y suelo, producido en ICA-

UABC (x=valor de la media de las tres mediciones por semana durante 24 semanas).

En base a los análisis realizados, durante el período de evaluación del proceso de descomposición de los materiales orgánicos, la temperatura se mantuvo en el rango de 30 a 45 °C (Figura 7.7).

Durante las primeras 3 semanas la temperatura registrada estuvo en los 35°C, pero para la cuarta semana comenzó a aumentar durante 8 semanas consecutivas hasta alcanzar casi los 45°C. Según la norma 180 de compostaje la temperatura ideal son 25°C, pero puede variar en un intervalo de 0°C a 35°C, lo importante es que no exceda los 65°C por más de 24 horas. Para la semana 12 la temperatura comenzó a disminuir levemente durante las próximas doce semanas hasta llegar a los 32°C aproximadamente.

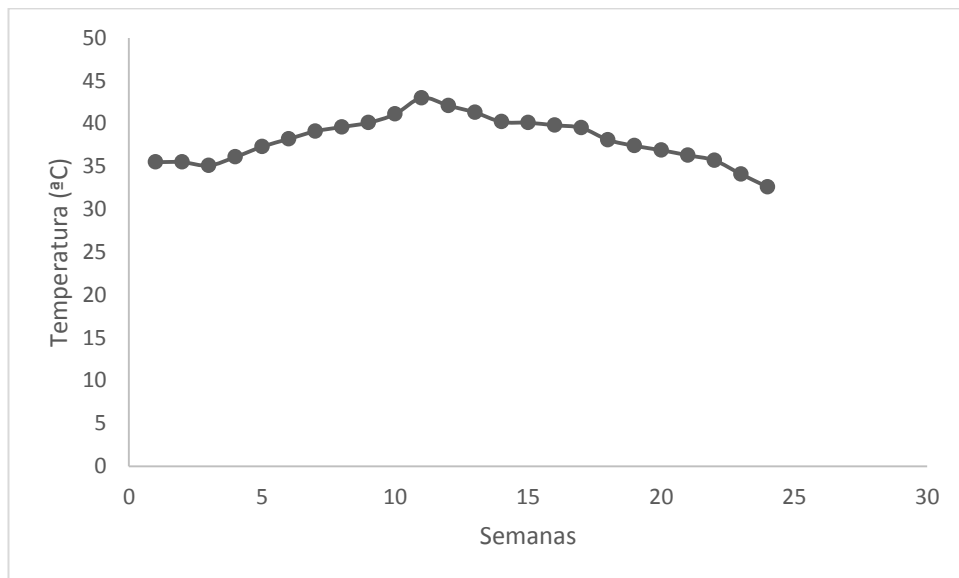


Figura 7.7. Cuantificación de los valores de temperatura (°C) durante el proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta a base de heces animales, material vegetal, aguas moradas y suelo, producido

en ICA-UABC (\bar{x} =valor de la media de las tres mediciones por semana durante 24 semanas).

Por otra parte, se inició con una humedad del 55%. Las siguientes 15 semanas se mantuvo entre 59 y 60%. En la semana 16 empezó a disminuir el porcentaje de humedad a 50% y hasta 43% en la semana 20. A partir de ahí, se mantuvo con una humedad de 35% en las últimas semanas. Según la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018 establece un rango de 25 a 45% de humedad.

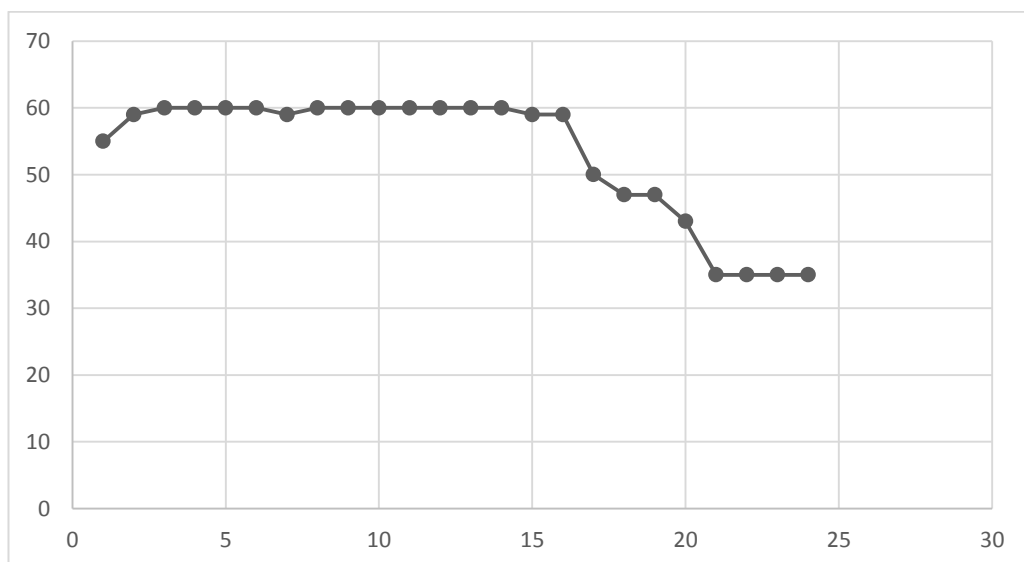


Figura 7.8 Cuantificación de los valores de humedad (%) durante el proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta a base de heces animales, material vegetal, aguas moradas y suelo, producido en ICA-UABC (\bar{x} =valor de la media de las tres mediciones por semana durante 24 semanas).

7.3 Características de mejorador orgánico de suelos

De acuerdo a los análisis realizados al producto obtenido, se encontró que en mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos existen 1440.9 ppm de sulfatos (SO_4^-) (Cuadro 6.1).

Cuadro 1. Contenido de aniones y cationes, en mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos.

Aniones y cationes	Contenido			
	3 meses		6 meses	
	mEq/L	ppm	mEq/L	Ppm
Calcio (Ca^{++})	40.0	801.6	40.0	801.6
Magnesio (Mg^{++})	100.0	1215.0	80.0	972.0
Sodio (Na^+)	180.0	4138.2	428.0	9839.7
Bicarbonatos (HCO_3^-)	80.0	4881.6	80.0	4881.6
Cloruros (Cl^-)	210.0	7444.5	430.0	15243.5
Sulfatos (SO_4^-)	30.0	1440.9	38	1825.14

Similarmente, se encontró que en mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos existe una conductividad de 32.0 (Ds m^{-1}) (Cuadro 6.2). De la misma forma, este producto presenta un pH de 8.69, siendo una composta tipo III, en base a las especificaciones de la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018.

Cuadro 2 Parámetros de salinidad en mejorador orgánico de suelos obtenido de Residuos Sólidos Urbanos.

Salinidad	Total	
	3 meses	6 meses
Conductividad eléctrica (Ds m ⁻¹)	32.0	54.8
Potencial de hidrógeno (pH)	8.69	8.08
Sólidos Disueltos Totales (SDT) (ppm)	19922	35564
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	21.5	55.25
Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) (%)	23.4	44.52

Durante el proceso de descomposición de mejorador orgánico de suelos de tipos composta, producido en zonas áridas se observan cambios físicos relacionados con la coloración y estructura. Durante la fase de preparación de materiales orgánicos, se observa estiércol seco antes de empezar su proceso de descomposición, sin material vegetal. De igual forma, los materiales orgánicos en proceso de descomposición durante el compostaje, con los materiales vegetales agregados. Finalmente, después de llevar a cabo las actividades de riegos, volteos, y de haber alcanzado las temperaturas óptimas, se obtiene un producto de tipo mejorador orgánico de suelos (Figura 7.7).



Figura 7.7. Proceso de descomposición de mejorador orgánico de suelos de tipos composta, producido en zonas áridas. A) Estiércol seco; B) Materiales orgánicos en proceso de descomposición durante el compostaje; C) Producto final sin cribado.

8. DISCUSIÓN

Todo el proceso para la elaboración de composta como mejorador de suelos se realizó bajo la NORMA 180 la cual indica desde como instalar el centro de compostaje y todo lo que se debe realizar durante la producción. Los parámetros que se midieron durante el proceso de compostaje fueron temperatura, humedad y pH. Según la NORMA 180 la temperatura se debe registrar diario los primeros 28 días. Para garantizar la inocuidad del producto final, la temperatura no debe exceder los 65°C y con una óptima de 55°C de los cuales el mejorador producido en ICA-UABC la máxima temperatura que obtuvo fue de 44°C.

El intervalo de pH a lo largo del proceso de compostaje debe ser de 4 a 9 como lo indica la NORMA 180. Los valores de pH durante el proceso de elaboración de mejorador orgánico de tipo composta producido en ICA-UABC estuvieron dentro del rango ya que durante las 24 semanas del proceso sus valores fueron de entre 8 y 9, habiendo un descenso en la semana 11 el cual llegó a un pH de 6 pero seguía dentro de los intervalos.

La Norma 180 indica que para el compostaje la mezcla de materiales se debe humedecer hasta tener un valor inicial comprendido en un intervalo de 50 % a 60 %. Durante el compostaje, la humedad de la mezcla debe mantenerse en una escala de 40 % a 60 %, salvo casos excepcionales y

específicos. No se permite rebasar el 70 % de humedad, con el objeto de evitar el escurrimiento de líquidos fermentados y la formación de condiciones anaerobias que pudieran generar olores desagradables. Los porcentajes de humedad del mejorador producido en ICA-UABC desde la primera semana se mantuvieron dentro del rango que se indica.

El suelo es el sostén de las plantas, y la fuente de nutrición de las mismas ya que es ahí donde se llevan a cabo las transformaciones de los elementos nutritivos a través de la biodegradación y mineralización de la materia orgánica. El nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas, no sólo por su función dentro de ellas y la cantidad demandada, sino por su costo económico, ya que a pesar de su abundancia en la naturaleza las plantas lo absorben y aprovechan mayormente en forma de nitratos y amonio (Gallegos-Vázquez *et al*, 2000).

la calidad del suelo, y este es indispensable para la nutrición vegetal, por lo que se deben de conocer sus características físicas, su contenido de nutrientes, su conductividad eléctrica y su capacidad de intercambio catiónico, ya que estos factores están relacionados con la capacidad del suelo para proveer a las plantas las condiciones necesarias para obtener los nutrientes que requieren para crecer y producir (Martínez *et al.*, 2008). Estudios realizados por Castellanos (1986) indican que el contenido de MO promedio de los suelos es 1.2%, lo cual se considera bajo, por lo que hace necesario incrementar este contenido mediante la adición de abonos orgánicos.

Guerrero (2000) y Fuentes (2000) reportan que los abonos orgánicos no solo mejoran las condiciones de acidez de los sustratos, sino que aportan una cantidad importante de nutrimentos y una reducción en los costos de producción de los lecheros.

El proceso de compostaje es una alternativa para el uso y degradación de Residuos Sólidos. La composta obtenida en este estudio presentó un aporte nutrimental de 32 mg Nitrógeno (N-NO₃-) y de 8.69 mg Fósforo (P-PO₄-3). De acuerdo a los valores de referencia de la norma NOM 180 (DOF), estos valores representan un alto aporte nutrimental que puede ser usado en la producción de cultivos y áreas verdes.

9. CONCLUSIONES

La producción de mejorador de suelos el cual se obtuvo de residuos sólidos urbanos resultó ser muy favorable para los suelos áridos del Valle de Mexicali, ya que se realizó bajo la NORMA 180 y cumplió con los estándares que esta indica.

10. LITERATURA CITADA

Borraz Ortega, I., C. Ivette Romo, "Plan de Aseguramiento de calidad para el Centro de Composteo Urbano, Tijuana Calidad de Vida", Julio de 2013.

Calva-Alejo C. L. and R. I. Rojas-Caldelas, "Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali, México: Retos para el Logro de una Planeación Sustentable," Inf. Tecnológica Aceptado Dic, vol. 25, no. 11, 2014.

Fundación de Asesorías para el Sector Rural Ciudad de Dios. FUNDASES. 2014. Principales microorganismos EM. Tecnología EM. <https://www.fundases.net/#!biotecnologas/c24wy>

Gobierno del Estado de México. 2005. Anteproyecto de Norma Técnica Estatal Ambiental PROXY-NTEA-006-SEGEM-RS-2005. 2005. Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de los residuos orgánicos. Gaceta del Gobierno, Periódico Oficial del Gobierno del Estado de México. 19 de septiembre del 2005.

- Rodríguez Salinas M. A. and Córdova y Vázquez Ana, Manual de compostaje municipal, Primera edición. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006.
- Román P., María M. Martínez, Alberto Pantoja, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, "Manual de Compostaje del Agricultor; Experiencias en América Latina", Santiago Chile, 2013.
- SEMARNAT, "Residuos," in Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental, 2013, pp. 319–361.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S.A. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering principles and management issues*. McGraw–Hill, International Editions. Singapur 978 pp
- Iglesias J.E. and Pérez G.V. (1989). Evaluation of city refuses compost maturity: A review. *Biol. Waste* 27, 115–142.
- CDI. (2008). *Comision Naciona para el Desarrollo de los Pueblos Indigenas*. Obtenido de <http://www.cdi.gob.mx/dmdocuments/composta.pdf>
- Cuara, F. G. (s.f.). *Mexico Tradicion Organica*. Obtenido de https://www.metrocert.com/files/Manual_de_elaboracion_de_composta.pdf
- Pozuelo, E. C. (Diciembre de 2004). *Agencia de Residuos de Catalunya*. Obtenido de <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha4.pdf>
- SEMARNAT. (2012). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
- SEMARNAT. (01 de Marzo de 2017). *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>

Dirección General de Normas. 2018. Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018. Diario Oficial de la Federación

11. ANEXOS

Cuadro 3. Materiales y herramientas empleados en la construcción y desarrollo de actividades de producción de composta.

Equipo	Cantidad
Pala carbonera mango “y” truper	5
Pala redonda mango largo clásica truper	5
Bieldo 5 dientes truper	5
Tela de criba	10 metros
Manguera reforzada 25 mt 3/4” vigoro	4
Minibaston de riego melnor	4

Tijeras de podar fiskars	5
Carretilla con bastidor tubular 6" truper	4
Termómetro de suelo 8" taylor	5
Medidor de pH Ecotestr pH2	4
Soil pH meter turf-tec	2
Báscula de plataforma industrial 150 lbs x 0.01 lbs.	1
Triturador de ramas 6.5 HP (212 cc)	1
*Kit para análisis de suelos LaMbotte SH-14	1
Tabla de colores de Munsell	1
Barrote 2 x 6 x 10	4
Lona multiusos 4.62 m x 7.11 m	4